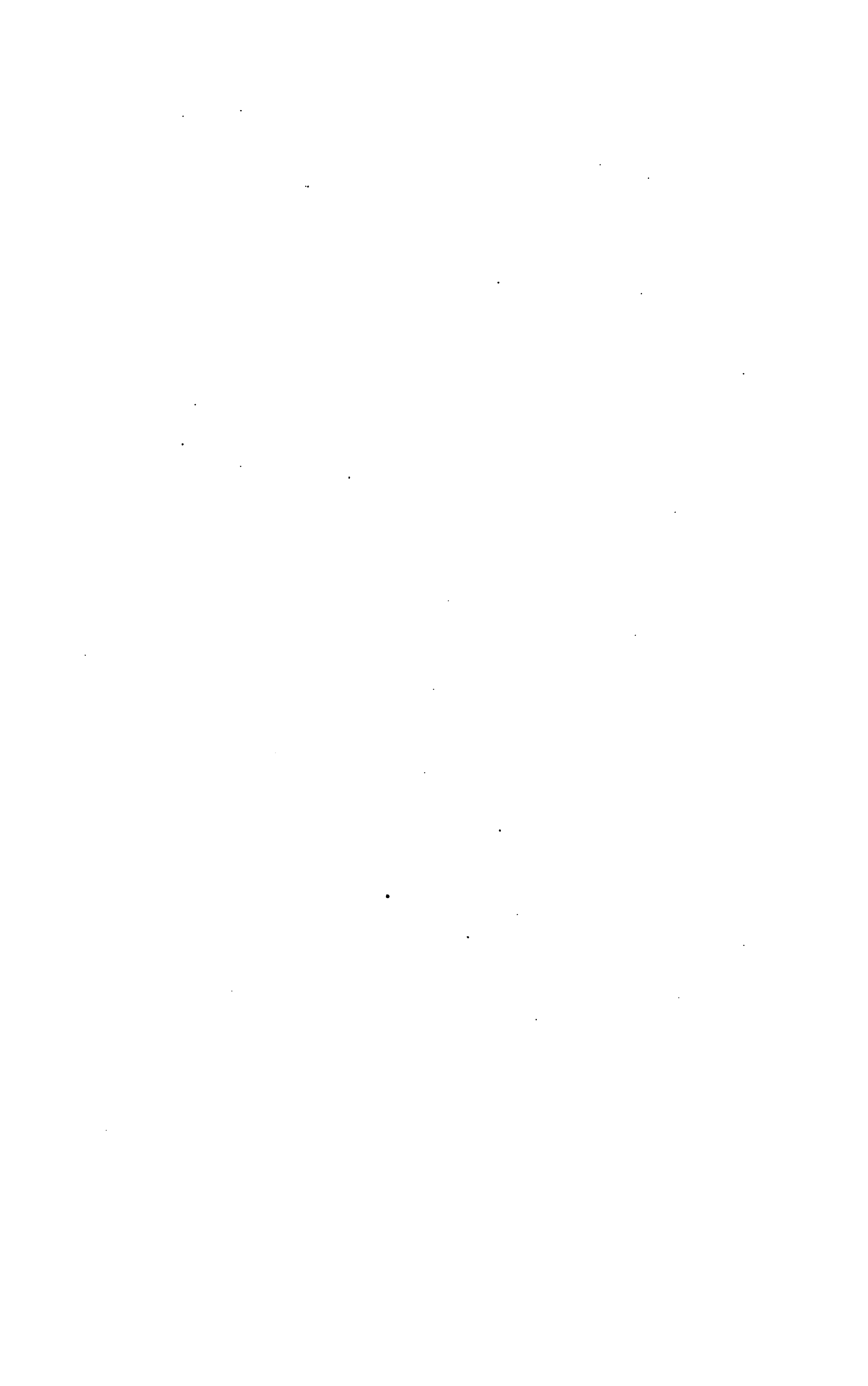










GRUNDRISS

EINER

GESCHICHTE DER NATURWISSENSCHAFTEN

ZUGLEICH EINE EINFÜHRUNG

IN DAS

STUDIUM DER GRUNDLEGENDEN NATURWISSENSCHAFTLICHEN LITTERATUR

VON

DR. FRIEDRICH DANNEMANN

I. BAND

2. AUFLAGE

MIT 57 ABBILDUNGEN GRÖSSTENTEILS IN WIEDERGABE NACH DEN ORIGINALWERKEN UND EINER SPEKTRALTAFEL.

LEIPZIG
VERLAG VON WILHELM ENGELMANN
1902.

ERLÄUTERTE ABSCHNITTE

AUS DEN WERKEN

HERVORRAGENDER NATURFORSCHER

ALLER VÖLKER UND ZEITEN

BEARBEITET VON

DR. FRIEDRICH DANNEMANN

MIT 57 ABBILDUNGEN GRÖSSTENTEILS IN WIEDERGABE NACH DEN ORIGINALWERKEN UND EINER SPEKTRALTAFEL

LEIPZIG
VERLAG VON WILHELM ENGELMANN
1902.

Druck der kgl. Universitätsdruckerei von H. Stürtz in Würzburg.

Vorwort zur ersten Auflage.

Das vorliegende Buch verfolgt den Zweck, weitere Kreise, insbesondere die Schüler der oberen Klassen höherer Lehranstalten, Studierende, Techniker, kurz alle, die sich für Methode und Ergebnisse der exakten Forschung interessieren, in die grundlegende Litteratur und Geschichte der Naturwissenschaften einzuführen. Auch den Lehrenden hofft der Verfasser eine willkommene Gabe zu bieten.

Für das Fachstudium fehlt es nicht an geschichtlichen Bearbeitungen der einzelnen Disziplinen; ferner ist für dasselbe in den letzten Jahren durch Ostwalds Klassiker der exakten Wissenschaften (Leipzig, Verlag von Wilhelm Engelmann) ein vortreffliches Hilfsmittel geschaffen worden. Im naturwissenschaftlichen Unterrichte der höheren Lehranstalten dagegen hat das historische Element bisher noch wenig Berücksichtigung gefunden. Man beschränkt sich hier wohl in den meisten Fällen darauf, am Schlusse eines Teilgebietes einige Namen und Daten zu geben, die das Gedächtnis des Lernenden belasten, ohne eine entsprechende Anregung zu gewähren. So kommt es denn, daſs unsere heranwachsende Generation von Kopernikus, Galilei, Guericke, Lavoisier, Faraday und den übrigen Begründern der Naturwissenschaft kaum mehr als die Namen und den Hauptgegenstand ihrer bahnbrechenden Thätigkeit kennen. Und doch giebt es auch für den Anfangsunterricht, insbesondere aber für den Unterricht auf der Oberstufe, kaum ein wirksameres Mittel zur Belebung des Studiums „als das Eindringen in das geschichtliche

Werden der Probleme."[1]) Nicht um eine Vermehrung des Wissensstoffes handelt es sich hier, sondern um eine Vertiefung in denselben und eine dadurch bedingte Erhöhung der Einsicht.

Dieser Aufgabe suchen die beiden Teile des vorliegenden Werkes, von denen jeder ein durchaus selbständiges, für sich verwendbares Ganze bildet, in verschiedener Weise gerecht zu werden. Der erste Teil, welcher hiermit der Öffentlichkeit übergeben wird, enthält eine Anzahl leicht verständlicher Abschnitte aus den hervorragendsten Werken der gesamten naturwissenschaftlichen Litteratur. Er ist gewissermafsen das, was für den Studierenden und den Lehrer der Geschichte das Quellenbuch bedeutet. Der eigentümliche Reiz, der den Gedankenentwicklungen der grofsen Forscher innewohnt, insbesondere die Frische, Ursprünglichkeit und Klarheit derselben, lassen sich durch keine blofs referierende Wiedergabe ersetzen. Diese hervorstechenden Eigenschaften der unmittelbaren persönlichen Kundgebung sind es auch, die gerade auf den jugendlichen Geist einen tiefgehenden Eindruck ausüben und in hohem Grade das Interesse für den behandelten Gegenstand erwecken.

Die im ersten Bande gebotenen Abschnitte, welche zum Teil für den vorliegenden Zweck übersetzt wurden, zum Teil auch der im gleichen Verlage erschienenen Ostwald'schen Sammlung entnommen sind, mufsten im Hinblick auf die Bestimmung des Buches frei bearbeitet und erläutert, zum mindesten aber einer Überarbeitung unterzogen werden. Kam es doch darauf an, in jedem Abschnitt trotz der gebotenen Kürze etwas Abgerundetes zu geben, was nur durch Fortlassung alles Unwesentlichen und heute nicht mehr Sachgemäfsen geschehen konnte. Auch auf Abänderung veralteter Schreib- und Ausdrucksweise wurde Bedacht genommen, ohne jedoch der Ursprünglichkeit des Gedankeninhalts oder der Schärfe des Ausdrucks Abbruch zu thun. Die Mehrzahl der nach der Zeitfolge geordneten und mit einer historischen Einführung versehenen Abschnitte lassen sich als Marksteine auf dem Pfade des wissenschaftlichen Erkennens betrachten. In ihrer Gesamtheit geben sie uns daher schon ein Bild der Entwicklung, zum wenigsten aber den passenden Rahmen für eine

[1]) W. Ostwald, Elektrochemie. Ihre Geschichte und Lehre V. Leipzig 1895.

Geschichte der Naturwissenschaften. Es seien diese Gesichtspunkte hier besonders hervorgehoben, damit der erste Teil nicht als Quellensammlung im gewöhnlichen Sinne aufgefafst, benutzt und beurteilt werde.

Durch eine in solcher Weise geknüpfte, unmittelbar gewonnene Bekanntschaft mit den wichtigsten Begebenheiten und den Hauptträgern der Geschichte der Wissenschaften wird dem Eindringen in die Zusammenhänge derselben am besten der Weg geebnet. Diese Zusammenhänge in ihren Grundzügen zu verfolgen und darzustellen, wird das Ziel des zweiten Bandes sein. Möge zunächst dieser erste Teil die in vorstehenden Worten kurz gekennzeichnete Aufgabe erfüllen; möge es auch ihm schon gelingen, in weiteren Kreisen ein Verständnis für den historischen Werdegang und geschichtliche Gröfse anzubahnen. Besitzt doch die letztere auf dem Gebiete der Wissenschaft ebensowohl ihr Feld als auf demjenigen der politischen Entwicklung der Völker.

Barmen, April 1896.

Dr. Friedrich Dannemann.

Vorwort zur zweiten Auflage.

Schon nach verhältnismäfsig kurzer Zeit ist eine neue Auflage des I. Bandes dieses Grundrisses nötig geworden, der ja eine Art Propädeutik zu der im II. Bande gegebenen zusammenhängenden Darstellung der Entwickelung der Naturwissenschaften bieten soll. Der bisherige Erfolg des Buches, sowie zahlreiche Besprechungen und persönliche Äufserungen haben dem Verfasser gezeigt, dafs der hier gebotene Einblick in die Denk- und Arbeitsweise der grofsen Forscher wohl imstande ist, eine wesentliche Vertiefung des Wissens anzubahnen. Soll doch schon der Schüler der oberen Klassen höherer Lehranstalten

nicht nur mit dem Zusammenhang der Erscheinungen und der Bedeutung der Naturgesetze bekannt werden, sondern auch, soweit dies auf der Schule möglich ist, die Wege verstehen lernen, auf denen man zur Erkenntnis dieser Gesetze gelangte [1]). Ein besseres Mittel aber, in die Art des Schaffens der bahnbrechenden Geister einzudringen, als die unmittelbare Bekanntschaft mit ihren Gedankengängen und Hilfsmitteln giebt es nicht. In diesem Punkte und auch darin, dafs das vorliegende Buch dem Standpunkt des Schülers der oberen Klassen und des jungen Studierenden nach Form und Inhalt angemessen ist, stimmen fast alle Beurteiler mit dem Verfasser überein. Auch wird anerkannt, dafs diese Art der Behandlung für jeden einigermafsen mit den Naturwissenschaften vertrauten Gebildeten von Interesse sein mufs, zumal sich auf diesem Wege ein übersichtliches, gedrängtes Bild der gesamten naturwissenschaftlichen Entwicklung gewinnen läfst. Die Befürchtung, dafs durch ein Hilfsmittel wie das vorliegende das Sprachliche und Litterarische in den naturwissenschaftlichen Unterricht eindringen könnte, ist durchaus ungerechtfertigt. Bei der Herstellung der neuen Auflage wurde jeder Abschnitt noch einmal sorgfältig daraufhin geprüft, ob einer solchen Befürchtung irgendwo Raum gegeben ist; überall wurde aus den Originalschriften nur der auch heute noch wertvolle Kern herausgeschält und alles Nebensächliche, Unzutreffende und sprachlich Veraltete dem Zweck des Ganzen entsprechend fortgelassen, beziehungsweise geändert. Der Verfasser ist der Ansicht, dafs im Gegenteil weit eher bei dem bisher geübten Verfahren, bei dem das historische Element nur dadurch zur Geltung kam, dafs jedem Abschnitte des Vortrags oder des Lehrbuchs einige Namen und Daten beigegeben wurden, die oben erwähnte Befürchtung am Platze ist. Was der Verfasser fördern möchte, ist das Verständnis des Gewordenen aus der Kenntnis und dem Verfolg des Werdens heraus. Dies zu erreichen, hofft er in dem vorliegenden Werke ein geeignetes Hilfsmittel geboten zu haben, das sich immer mehr einbürgern und auch auf die Erteilung des naturwissenschaftlichen Unterrichts von wachsendem Einflufs sein möge.

---

1) Lehrpläne für die höh. Schulen in Preufsen, 1901. S. 65.

Hinzugekommen sind diesmal zehn Abschnitte:

Theophrast begründet die Botanik (Abschn. 2).

Die Begründung der Mechanik der Gase und Dämpfe (Abschn. 5).

Die Naturwissenschaften im Mittelalter (Abschn. 7).

Die Lehre von der Sexualität der Pflanzen (Abschn. 24).

Herschel begründet die Astronomie der Fixsterne (Abschn. 29).

Die Erfindung der galvanischen Säule und des Becherapparates (Abschn. 37 b).

Das Doppler'sche Prinzip (Abschn. 62).

Helmholtz, Über die Wechselwirkung der Naturkräfte (Abschn. 63 b).

Kirchhoff und Bunsen, Chemische Analyse durch Spektralbeobachtungen (Abschn. 67 a).

Die Elektrizität wird als eine Wellenbewegung des Äthers erkannt (Abschn. 69).

Allen auf die Vermehrung des Inhalts bezüglichen Wünschen konnte nicht wohl entsprochen werden. Diese oder jene der vielen, sämtlich mit Dank entgegengenommenen Anregungen läfst sich in einer etwa erforderlich werdenden dritten Auflage noch berücksichtigen.

Barmen, Dezember 1901.

Dr. Friedrich Dannemann.

Inhalt.



1. Aristoteles begründet die Zoologie.

Abschnitte aus der Tierkunde des Aristoteles[1]).

Aristoteles wurde 384 v. Chr. zu Stagira geboren. Im 17. Lebensjahre kam er nach Athen, wo er bald zu den hervorragendsten Schülern Platos zählte. 343 wurde ihm von Philipp von Makedonien die Erziehung seines Sohnes Alexander übertragen. Nachdem letzterer zur Herrschaft gelangt war, kehrte Aristoteles nach Athen zurück und ward dort der Gründer einer Philosophenschule. Aristoteles starb im Jahre 322.

Seine Tierkunde[2]), *von der hier einige Abschnitte in freier Bearbeitung mitgeteilt seien, ist ein grundlegendes Werk und das bedeutendste zoologische Buch des Altertums. Es enthält nicht nur Beschreibungen der Tiere, sondern geht auch auf den Bau und die Verrichtungen der Organe, sowie auf Entwicklung und Lebensweise ein.*

Da uns der Mensch unter allen Geschöpfen am besten bekannt ist, so wollen wir uns zuerst mit den Teilen seines Körpers beschäftigen. Die Hauptabschnitte desselben sind Kopf, Hals, Arme, Beine und Rumpf. Am Kopf unterscheidet man Schädel und Antlitz; ersterer ist ein dünner, gewölbter, von einer fleischlosen Haut bedeckter Knochen. Unter den Brauen befinden sich die Augen. Das Innere derselben besteht aus einer Flüssigkeit, welche das Sehen vermittelt[3]); um diese ist eine schwarze und aufserhalb derselben eine weifse Haut vorhanden. Alle lebendig gebärenden

---

1) Zu Grunde gelegt wurde der kritisch berichtigte Text von Aubert und Wimmer. Leipzig, Verlag von Wilhelm Engelmann. 1868. Näheres über Aristoteles siehe Bd. II. d. Grdr. (1. Aufl.) S. 22 u. f.

2) ἱστορίαι περὶ ζῴων.

3) Zu einer richtigen Vorstellung vom Sehen gelangte erst Keppler, welcher erkannte, dafs die Linse die Strahlen auf der Netzhaut vereinigt und dort ein umgekehrtes Bild des Gegenstandes erzeugt. (Siehe Bd. II. d. Gr. S. 168.)

Tiere mit Ausnahme des Maulwurfs besitzen Sehorgane; doch zeigt es sich, wenn man die Haut entfernt, daſs der Maulwurf gleichsam in der Entwicklung verkümmerte Augen hat, welche nur nicht äuſserlich sichtbar sind. Das Ohr zerfällt in Muschel und Läppchen und ist aus Knorpel und Fleisch gebildet, das innere Ohr ist schneckenförmig und durch einen Gang mit der Mundhöhle verbunden[1]). Als Weg für den Atem dient die Nase, durch welche sowohl das Ein- und Ausatmen als auch das Niesen stattfindet; letzteres besteht in dem Austritt von verdichtetem Atem und gilt als Vorbedeutung. Auch die Wahrnehmung der Gerüche geschieht durch dieses Organ.

Die Nase des Elefanten ist in einen starken Rüssel verlängert, der wie eine Hand gebraucht wird; mittelst desselben nimmt der Elefant seine Nahrung auf, trockene sowohl wie flüssige, und führt sie zum Munde, eine Eigentümlichkeit, wie sie im ganzen Tierreich nicht wieder vorkommt.

Unter der Nase befinden sich die Lippen, eine sehr bewegliche Fleischmasse. Teile des Mundes sind der Gaumen, der Schlund und die Zunge, das Organ des Geschmacks; letztere besteht aus lockerem Fleisch und geht in den Kehldeckel über. Im Halse befindet sich an der vorderen Seite die knorpelige Luftröhre, der Weg für die Stimme und den Atem, nach innen vor dem Rückgrat die fleischige Speiseröhre.

Am Rumpfe unterscheidet man vorn Brust, Bauch und Unterleib; die Teile des Rückens sind die beiden Schulterblätter, das Rückgrat und das Becken. Das eine Gliedmaſsenpaar sind die Arme. Der Arm besteht aus Oberarm, Unterarm und Hand; letztere ist aus der Handwurzel[2]) und den fünf Fingern zusammengesetzt; von diesen hat der Daumen nur ein, die übrigen zwei Gelenke. Das Innere der Hand ist fleischig und durch Falten geteilt. Wenn deren eine oder zwei durch die ganze Fläche sich erstrecken, so ist dies ein Zeichen langer Lebensdauer; auf kurze Lebensdauer deutet dagegen, wenn zwei nicht die ganze Fläche durchziehen[3]). Die Teile des Beines sind der an beiden Enden mit

---

[1]) Dieser Gang, die Eustachische Röhre, verbindet den vor der Schnecke liegenden als mittleres Ohr bezeichneten Hohlraum mit dem Rachen.

[2]) Unter der Handwurzel versteht Aristoteles den Teil, welchen wir heute mit diesem Namen bezeichnen, samt der Mittelhand.

[3]) Wir ersehen aus dieser Angabe des Aristoteles, daſs abergläubische Vorstellungen mitunter ein recht ehrwürdiges Alter besitzen.

Gelenkköpfen versehene Oberschenkel, die bewegliche Kniescheibe, der aus zwei Knochen bestehende Unterschenkel und der Fufs.

Das Innere des Körpers ist beim Menschen am wenigsten bekannt, sodafs man hinsichtlich desselben auf die entsprechenden Organe der Tiere zurückgreifen mufs. Was den Kopf anbelangt, so liegt in seinem vorderen Teile das Gehirn, welches beim Menschen verhältnismäfsig am gröfsten ist. Es wird von zwei Häuten umgeben, einer stärkeren, die dem Knochen anliegt, und einer schwächeren, welche das Gehirn selbst umgiebt[1]). Dasselbe besteht bei allen Tieren aus zwei Hälften, an welche sich nach hinten das kleine Gehirn anschliefst.

Die Lunge ist zweiteilig. Bläst man in die Luftröhre, so füllen sich die Räume der Lunge mit Luft. Die Speiseröhre läuft vom Munde aus der Luftröhre parallel und führt durch das Zwerchfell in den Magen. Darauf folgt der gewundene Darm, welcher mäfsig weit ist, sich aber in seinem unteren Teile erweitert.

Das Herz liegt dort, wo sich die Luftröhre teilt; es führt von allen Eingeweiden allein Blut, denn die Lunge enthält es nicht in sich selbst, sondern in ihren Adern. Die Scheidewand des Rumpfes bildet das Zwerchfell; unter demselben liegt auf der rechten Seite die Leber, auf der linken die Milz.

Die lebendig gebärenden Vierfüfsler sind fast alle dicht behaart, während der Mensch vom Kopfe abgesehen nur vereinzelte kurze Haare besitzt; am wenigsten behaart ist der Elefant. Eine Eigentümlichkeit der Kamele ist der Höcker, und zwar haben die baktrischen Kamele zwei Höcker, die arabischen nur einen.

Die lebendig gebärenden Vierfüfsler sind entweder vielzehig wie der Löwe, der Hund und der Panther, oder zweihufig wie Schaf, Ziege und Hirsch, oder sie besitzen nur einen Huf wie das Pferd. Den Tieren, welche Hörner tragen, hat die Natur meist zwei Hufe verliehen. Ein Einhufer mit zwei Hörnern ist uns niemals zu Gesicht gekommen. Die Hörner sind beim Hirsch[2]) massiv, sonst aber hohl. Das Horn geht aus der Haut hervor, die feste Masse dagegen, welche sich im Innern befindet, besteht aus Knochen, wie man beim Rinde sehen kann. Der Hirsch wirft alljährlich seine Hörner ab, erhält sie aber wieder; in den übrigen Fällen

[1]) Zwischen der von Aristoteles erwähnten harten und weichen Haut (dura und pia mater) befindet sich noch die sehr zarte Spinnwebenhaut (Arachnoïdea).

[2]) Aristoteles bezeichnet das aus Knochenmasse bestehende Geweih des Hirsches und das Horn des Rindes mit demselben Worte.

bleiben sie das ganze Leben hindurch, wenn sie nicht gewaltsam entfernt werden.

Auch im Gebifs weichen die Tiere untereinander und vom Menschen vielfach ab. Zähne besitzen alle lebendig gebärenden Vierfüfsler, und zwar haben dieselben in beiden Kiefern entweder zusammenhängende Zahnreihen oder unterbrochene. Allen Hörnertragenden nämlich fehlen die Vorderzähne im Oberkiefer, doch giebt es auch Arten mit unvollkommenen Zahnreihen ohne Hörner wie das Kamel. Manche haben Hauzähne, z. B. der Eber; ferner giebt es Tiere mit Reifszähnen wie der Löwe, Panther und Hund. Hauzähne und Hörner zugleich besitzt kein Tier, auch kommen nicht Reifszähne neben Hauzähnen oder Hörnern vor[1]).

Zwischen dem Menschen und den Vierfüfslern stehen, was den Körperbau anbelangt, die Affen. Ihr Antlitz gleicht in mancher Hinsicht dem menschlichen, denn sie haben ganz ähnliche Nasen und Ohren und wie beim Menschen gebildete Vorder- und Backenzähne; aufserdem gleichen die Hände, Zehen und Nägel denen des Menschen, doch nähert sich alles mehr dem Tierischen. Eigentümlich sind die Füfse gebildet, indem sie fingerähnliche Zehen besitzen; auch gleicht die untere Fufsseite der Handfläche. Die Affen gebrauchen die Füfse in doppelter Weise, als Greiforgane nämlich und zum Gehen.

Die Vögel allein unter allen Tieren sind zweibeinig wie der Mensch, sie haben weder Hände noch Vorderfüfse, sondern Flügel, das sind Organe, welche dieser Tierklasse eigentümlich sind. Alle haben mehrspaltige Füfse. In der Regel sind die Zehen getrennt; bei den Schwimmvögeln aber sind die gegliederten, deutlich gesonderten Zehen durch Schwimmhäute verbunden. Die Vögel, welche hoch fliegen, haben sämtlich vier Zehen, von denen meistens drei nach vorn und eine nach hinten gestellt sind. Einige haben zwei nach vorn und zwei nach hinten gerichtete Zehen wie der Wendehals[2]).

---

[1]) Dasselbe drückt Goethe in seiner „Metamorphose der Tiere“ aus, wenn er dort sagt:

> Denn so hat kein Tier, dem sämtliche Zähne den oberen
> Kiefer umzäunen, ein Horn auf seiner Stirne getragen,
> Und daher ist den Löwen gehörnt der ewigen Mutter
> Ganz unmöglich zu bilden, und böte sie alle Gewalt auf;
> Denn sie hat nicht Masse genug, die Reihen der Zähne
> Völlig zu pflanzen und auch Geweih und Hörner zu treiben.

[2]) Der Wendehals, Jynx torquilla L., zur Familie der Spechte gehörend, ist ein in Mitteleuropa heimischer Vogel, welcher durch seine lebhaften Kopfbewegungen auffällt. Den Winter verbringt er in Nordafrika, berührt daher auf seinem Zuge Südeuropa.

Der Mund ist bei den Vögeln eigentümlich gebildet; es sind weder Lippen noch Zähne vorhanden, sondern ein Schnabel. An Stelle der Ohren und der Nase finden sich nur diesen Sinnen dienende Gänge. Aufser den Lidern besitzen die Vögel eine aus dem Augenwinkel hervortretende Nickhaut; ferner haben sie weder Schuppen noch Haare, sondern Federn. Einige Arten haben auch Sporne, doch kommen Krallen und Sporne nie zusammen vor.

Unter den Wassertieren bilden die Fische eine von allen übrigen gesonderte artenreiche Klasse. Sie besitzen weder einen Hals, noch Gliedmafsen; eigentümlich sind ihnen die Flossen, sowie ein Kiemenapparat, durch welchen sie das mit dem Munde aufgenommene Wasser wieder heraustreten lassen. Zum Teil besitzen sie Kiemendeckel; alle Haie und Rochen dagegen haben unbedeckte Kiemen, und bei den letzteren liegen sie auf der Bauchseite. Mit Ausnahme des Papageifisches[1]) haben die Fische Reifszähne, welche spitz sind und in mehreren Reihen, mitunter sogar auf der Zunge stehen. Alle haben Blut. Entweder pflanzen sie sich durch Eier fort, oder sie sind lebendig gebärend, wie die Selachier[2]).

Bis jetzt ist von den Bluttieren die Rede gewesen und dargethan worden, worin sie untereinander übereinstimmen, und durch welche Eigentümlichkeiten die einzelnen Gruppen gekennzeichnet sind; wir wenden uns jetzt zu den blutlosen Tieren[3]). Sie zerfallen in mehrere Abteilungen und zwar in die Kopffüfser, die Weichschaligen, die Hartschaligen und die Insekten. Zu den letzteren gehören, wie der Name sagt, alle diejenigen, welche Einschnitte haben; die Substanz ihres Körpers ist weder hart noch fleischartig, sondern hält dazwischen die Mitte. Es giebt sowohl flügellose Insekten, wie der Tausendfufs, als auch geflügelte, wie Biene und Wespe. Auch giebt es innerhalb derselben Art geflügelte und flügellose Formen, z. B. bei den Ameisen und Leuchtkäfern.

---

[1]) Gemeint ist Scarus cretensis L., ein von pflanzlichen Stoffen lebender Fisch des Mittelmeeres mit kleinen verwachsenen Zähnen, welche sich schuppenförmig decken.

[2]) Unter diesem Namen werden die Haie und die Rochen zusammengefafst, von welchen manche Arten ihre Eier ablegen, andere sie im Innern des Körpers zur Entwicklung bringen und somit lebendig gebärend sind.

[3]) Die aristotelische Gegenüberstellung von Bluttieren und Blutlosen entspricht der heutigen, von Lamarck herrührenden Einteilung in Wirbeltiere und Wirbellose. (Siehe Abschn. 42 dies. Bds.)

Die Kopffüſsler besitzen Füſse, welche sich am Kopfe befinden, einen Mantel, der das Innere umschlieſst, und Flossen rings um den Mantel. Es sind acht mit Saugnäpfen versehene Füſse vorhanden. Einige Arten, wie die Sepien, haben auſserdem zwei lange Fangarme; mit diesen ergreifen sie die Nahrung und führen sie zum Munde; bei Sturm befestigen sie diese Arme wie Anker an einem Felsen und lassen sich so von den Wogen hin- und hertreiben. Auf die Füſse folgt bei allen der Kopf, in dessen Mitte sich der mit zwei Zähnen versehene Mund befindet; darüber liegen die groſsen Augen und zwischen diesen eine knorpelige Masse, welche das Gehirn einschlieſst.

Zu den Weichschaligen[1]) gehören die Languste, der Hummer, welcher sich von den übrigen durch den Besitz von Scheren unterscheidet, ferner die Garneelen und die Krabben. Bei ihnen findet sich die feste Masse auſsen, die weiche, fleischartige innen; ferner haben sie harte Augen, welche bewegt werden können.

Die Schaltiere sind entweder einschalig, wie die Napfschnecke, oder zweischalig, wie die Kamm- und Miesmuscheln. Bei letzteren sind die Schalen auf der einen Seite miteinander verbunden, auf der anderen ohne Verbindung, sodaſs sie geschlossen und geöffnet werden können. Einige haben glatte Schalen, andere rauhe, wieder andere gerippte, z. B. die Kammmuscheln. Das Fleisch ist mit den Schalen verwachsen, sodaſs es sich nur mit Gewalt davon trennen läſst. Der Einsiedlerkrebs gehört gewissermaſsen sowohl den Weichschaligen als auch den Schaltieren an. Dieses Geschöpf ist den Langusten ähnlich, begiebt sich aber in eine Schale und lebt darin; doch ist es nicht mit derselben verwachsen, sondern läſst sich leicht davon loslösen.

Alle Insekten haben drei Abschnitte des Körpers, den Kopf, den Körperteil, welcher Magen und Darm enthält, und drittens den dazwischen liegenden Abschnitt, welchem bei anderen Tieren Brust und Rücken entsprechen. Auſser den Augen haben die Insekten kein deutliches Sinnesorgan; manche besitzen einen Stachel, welcher sich entweder innerhalb des Körpers befindet, wie bei den Bienen und Wespen, oder auſserhalb, wie beim Skorpion[2]). Letzterer

[1]) Unter diesem Namen vereinigt Aristoteles die ihm bekannten Krebstiere.

[2]) Der Name Insekten, welcher heute die sechsfüſsigen Arthropoden bezeichnet, wurde von Aristoteles in viel weiterem Sinne gebraucht; er rechnete auch die Spinnentiere, sowie die Tausendfüſsler und Eingeweidewürmer, kurz alle Geschöpfe mit Einschnitten rings um den Körper, zu den Insekten.

ist allein unter allen Insekten lang geschwänzt; ferner besitzt er, wie auch der kleine Bücherskorpion, Scheren. Einige Insekten haben über den Augen Fühler, z. B. die Schmetterlinge und die Käfer. Im Innern findet sich ein Darm, welcher in der Regel bis zum After gerade verläuft, mitunter aber auch gewunden ist.

Nachdem wir die äufseren und inneren Teile des Tieres beschrieben, soll jetzt von den Sinnen die Rede sein. Es giebt deren nur fünf, Gesicht, Gehör, Geruch, Geschmack und Gefühl; manche Tiere haben alle Sinne, anderen fehlen einige. Bei vielen treten die Sinneswerkzeuge sehr deutlich hervor, besonders Augen und Ohren; einige haben äufsere Ohren, andere sichtbare Gehörgänge; ähnlich verhält es sich mit dem Geruchsorgan. Das Sinneswerkzeug für den Geschmack ist die Zunge. Unter den im Wasser lebenden Bluttieren haben die Fische zwar eine Zunge, dieselbe ist indes undeutlich und nicht frei beweglich. Dafs die Fische aber Geschmacksempfindung besitzen, ist offenbar; viele haschen vorzugsweise nach einem bestimmten Köder, weil ihnen der Geschmack desselben zusagt. Dagegen haben die Fische kein sichtbares Gehör- und Geruchsorgan[1]), obgleich sie hören und riechen. So hat man beobachtet, dafs sie starkes Geräusch fliehen, z. B. die Ruderschläge der Kriegsschiffe. Auch vermeiden die Fischer so viel wie möglich, mit den Rudern oder Netzen Geräusch zu machen. Ebenso verhält es sich mit dem Geruch der Fische; die meisten rühren den Köder nicht an, wenn er nicht frisch ist; auch werden nicht alle mit demselben Köder gefangen, sondern jede Art bevorzugt einen besonderen, wobei offenbar auch der Geruchssinn eine Rolle spielt. Auch die Insekten nehmen Gerüche von ferne wahr, wie die Bienen. Die Ameisen fliehen, wenn Schwefel um ihre Haufen gestreut oder Hirschhorn in der Nähe verbrannt wird. Aus ähnlichen Gründen mufs man den Insekten den Geschmackssinn zuerkennen. Nicht alle lieben dieselben Stoffe, sondern jegliche Art wählt eine besondere Nahrung; so läfst sich z. B. die Biene nie auf faulende Substanzen nieder, sondern sucht nur Süfsigkeiten auf.|

Dafs alle blutführenden Gangtiere schlafen und wachen, läfst sich unmittelbar beobachten, da beim Schlafen alle mit Augenlidern versehenen dieselben schliefsen. Zudem träumen offenbar

[1]) Die blind endenden Höhlen über der Mundspalte der Fische, welche heute als Geruchsorgan betrachtet werden, hat Aristoteles also noch nicht richtig zu deuten gewufst.

nicht nur die Menschen, sondern auch Pferde und Hunde, was letztere durch Bellen zu erkennen geben. Dafs die Wassertiere schlafen, hat man ebenfalls beobachtet. An ihren Augen läfst sich zwar nichts bemerken, weil denselben die Lider fehlen, wohl aber an ihrer Unbeweglichkeit. Man kann sich nämlich oft den Fischen so unbemerkt nähern, dafs sie sich greifen lassen; sie verhalten sich dann ganz ruhig, nur die Schwanzflosse wird leise bewegt. Dafs sie aber schlafen, ersieht man aus dem Auffahren, wenn sich etwas rührt; sie schrecken dann wie aus dem Schlafe empor. Meist schlafen sie am Grunde, indem sie auf dem Boden oder an einem Steine ruhen, oder auch wohl sich unter Felsen verbergen; die breiten Fische schlafen im Sande, wo sie mit dem Dreizack gespiefst werden.

---

2. Theophrast begründet die Botanik.

Einige von der Dattelpalme handelnde Abschnitte aus Theophrasts Naturgeschichte der Gewächse[1]).

Theophrast wurde um 372 v. Chr. geboren. Er war ein Schüler des Aristoteles und nach dessen Tode das Haupt der von diesem Philosophen gegründeten Schule. Theophrast nimmt der Botanik gegenüber eine ähnliche Stellung ein, wie sie Aristoteles für die Zoologie besitzt. Von Theophrast rührt auch die erste Bearbeitung der mineralogischen Kenntnisse der Alten her[2]).

Die Zucht der Dattelpalmen ist vor allem eigentümlich, wie auch ihre nachherige Pflege. Man steckt nämlich mehrere Kerne in ein Loch, indem man zwei unten und zwei darüber legt, aber alle so, dafs der Keim nach oben sieht. Dies geschieht, weil der einzelne Trieb schwach ist; von mehreren Kernen verflechten sich aber die Wurzeln und sofort auch die ersten Triebe, sodafs daraus ein Stamm wird.

Die Dattelpalme liebt Sand- und Salzboden. Wo dieser fehlt, streuen daher die Landwirte Salz umher. Dafs die Dattelpalme

---

1) Theophrasts Naturgeschichte der Gewächse. Übersetzt und erläutert von K. Sprengel. 1822. Kapitel VI und VIII.

2) Περὶ λίθων (Abhandlung über die Steine). Aus dem Griechischen übersetzt von C. Schneider, Freyberg, 1807.

solchen Boden liebt, geht auch daraus hervor, dafs überall, wo es viel Dattelpalmen giebt, die Gegenden sandig und salzreich sind.

Der Baum liebt auch die Bewässerung ungemein. Bezüglich der Düngung ist man verschiedener Meinung. Einige sagen, er wolle keinen Dünger und dieser sei seiner Natur zuwider; andere behaupten im Gegenteil, dafs der Baum danach sehr gedeihe. Aber man mufs ihn mit dem Dünger zugleich stark bewässern. Mit dem Wasser aber scheint der Dünger nützlich zu sein, schädlich ohne dasselbe. Ist der Sämling ein Jahr alt, so verpflanzt man ihn und streut zugleich Salz auf den Boden. Nach zwei Jahren wird er wieder umgesetzt, denn er liebt das Umpflanzen sehr. Sind die Pflanzen jung, so bindet man den Schopf zusammen, damit sie gerade wachsen und die Blätter nicht herabhängen. Wenn sie schon stämmig geworden sind und eine gewisse Stärke erlangt haben, beschneidet man sie. Solange die Dattelpalme jung ist, trägt sie eine kernlose Frucht, später kommt der Kern hinzu. Sie liebt ferner das Quellwasser mehr als das Regenwasser.

Es giebt verschiedene Arten von Dattelpalmen. Der wesentlichste Unterschied besteht darin, dafs einige Früchte tragen, andere dagegen nicht. Aus dem Holze der letzteren macht man in Babylon Betten und andere Geräte. Dann sind unter den fruchttragenden die männlichen und die weiblichen verschieden. Dieser Unterschied besteht darin, dafs der männliche Baum eine Blume aus der Scheide treibt, der weibliche aber eine langgestreckte Frucht. Bei den Früchten giebt es mehrere Unterschiede; einige haben keinen Kern, andere einen weichen. Auch hinsichtlich der Höhe des Stammes und der Gestalt des Baumes weist die Dattelpalme Verschiedenheiten auf. Im ganzen ist sie ein Baum mit einfachem, ungeteilten Stamme; indessen kommen solche mit geteiltem und fast gabelförmigem Stamme in Ägypten vor. Bis zum Beginn der Teilung ist der Stamm fünf Ellen hoch. Auch in Kreta sollen einige Palmen sich in zwei oder drei Äste spalten. Es ist natürlich, dafs in fruchtbareren Gegenden eine häufigere Teilung und im ganzen mehr Formen und Verschiedenheiten vorkommen.

Manche Bäume werfen ihre Früchte vor der Reife ab, wogegen man auch Anstalten trifft. Bei den Datteln besteht das Hilfsmittel darin, dafs man die männliche Blüte der weiblichen nähert, denn jene macht, dafs die Früchte dauern und reif werden. Es geschieht dies aber auf folgende Weise: Blüht die männliche Pflanze, so schneidet man die Blütenscheide ab und schüttelt sie

sogleich, wie sie ist, mit der Wolle der Blüte und dem Staube auf die weibliche Frucht. Wird diese so behandelt, so dauert sie aus und fällt nicht ab.[1])

---

3. Archimedes entwickelt die Prinzipien der Mechanik.

Die wichtigsten Sätze über das Gleichgewicht und das Schwimmen[2]).

Archimedes wurde um das Jahr 287 v. Chr. zu Syrakus geboren und starb 212 bei der Einnahme seiner Vaterstadt, um deren Verteidigung gegen die Römer er sich sehr verdient gemacht hatte. Durch die Entdeckung des Hebelgesetzes und des hydrostatischen Prinzips wurde Archimedes zum Begründer der Mechanik, deren weiterer Ausbau erst durch Galilei erfolgte (Siehe 9). In seiner Sandesrechnung (Siehe 4) dehnt Archimedes die bisher nur begrenzte Zahlenreihe fast ins Unendliche aus; gleichzeitig gilt diese Schrift als ein wichtiger Beleg dafür, dafs Kopernikus (Siehe 8 A) in Aristarch einen Vorläufer besessen hat. Näheres über Archimedes siehe Bd. II d. Grdr. S. 32 u. f.

1. Gleich schwere Gröfsen, in gleichen Entfernungen wirkend, sind im Gleichgewicht.
2. Gleich schwere Gröfsen in ungleichen Entfernungen wirkend, sind nicht im Gleichgewicht, sondern die in der gröfseren Entfernung wirkende sinkt.
3. Wenn einem Gewicht, das mit einem anderen in gewissen Entfernungen im Gleichgewicht ist, etwas hinzugefügt wird, so bleiben sie nicht mehr im Gleichgewicht, sondern dasjenige sinkt, dem etwas zugelegt worden ist.
4. Ebenso, wenn von dem einen dieser Gewichte etwas fortgenommen wird, bleiben sie nicht mehr im Gleichgewicht, sondern dasjenige sinkt, von dem nichts weggenommen ist.

---

1) Anknüpfend an diese und ähnliche Beobachtungen der Alten begründete in der neueren Zeit Camerarius die Lehre von der Sexualität der Pflanzen. Siehe Bd. I Nr. 24 und Bd. II (1. Aufl.) S. 222.

2) Zusammengestellt aus den Werken des Archimedes. Ausgabe von Ernst Nizze, Stralsund. 1824.

5. Ungleich schwere Gröfsen sind bei gleichen Entfernungen nicht im Gleichgewicht, sondern die schwerere wird sinken.
6. Wenn ungleich schwere Gröfsen in ungleichen Entfernungen im Gleichgewicht sind, so befindet sich die schwerere in der kleineren Entfernung.
7. Ungleiche Gewichte stehen im Gleichgewicht, sobald sie ihren Entfernungen umgekehrt proportional sind [1].

---

8. Der Schwerpunkt eines jeden Parallelogramms ist derjenige Punkt, in welchem die Diagonalen sich treffen.
9. Der Schwerpunkt eines jeden Dreiecks liegt in einer geraden Linie, welche von einem Endpunkt nach der Mitte der Grundlinie gezogen wird.
10. Der Schwerpunkt eines Dreiecks liegt in dem Punkte, in welchem die aus den Eckpunkten nach den Mitten der Seiten gezogenen Linien sich schneiden [2].

---

11. Die Oberfläche einer jeden zusammenhängenden Flüssigkeit im Zustande der Ruhe ist sphärisch und ihr Mittelpunkt fällt mit dem Mittelpunkt der Erde zusammen.
12. Feste Körper, welche bei gleichem Rauminhalt einerlei Gewicht mit einer Flüssigkeit haben, sinken in diese eingetaucht so weit ein, dafs nichts von ihnen über die Oberfläche der Flüssigkeit hervorragt; tiefer aber sinken sie nicht.
13. Jeder feste Körper, welcher leichter als eine Flüssigkeit ist und in diese eingetaucht wird, sinkt so tief, dafs die Masse der Flüssigkeit, welche dem eingesunkenen Teil an Volumen gleich ist, ebensoviel wiegt, wie der ganze Körper.
14. Wenn Körper, die leichter sind als eine Flüssigkeit, in dieser untergetaucht werden, so erheben sie sich wieder mit einer Kraft, welche gleich ist dem Gewichte des dem Körper gleichen Volumens Flüssigkeit, vermindert um das Gewicht des Körpers selbst.

---

[1] Dies ist das wichtige von Archimedes zuerst klar ausgesprochene Hebelgesetz.

[2] Satz 1—10 finden sich im 1. Buche vom Gleichgewicht, Ausgabe von Nizze, Seite 1—11.

15. Feste Körper, welche bei gleichem Rauminhalt schwerer als eine Flüssigkeit sind und in diese eingetaucht werden, sinken, so lange sie noch tiefer kommen können, und werden in der Flüssigkeit um so viel leichter, wie das Gewicht einer Masse Flüssigkeit von der Gröfse des eingetauchten Körpers beträgt[1].

---

4. Des Archimedes Sandesrechnung[2].

Über Archimedes siehe den vorhergehenden Abschnitt.

Manche Leute, König Gelon, meinen, die Zahl der Sandkörner sei unendlich grofs. Ich spreche nicht von dem Sande, der sich um Syrakus oder in ganz Sicilien befindet, sondern ich habe dabei das gesamte feste Land im Auge, das bewohnte sowohl, wie das unbewohnte. Andere halten diese Zahl zwar nicht für unbegrenzt, glauben aber, dafs sie jede angebbare Zahl übertreffe. Wenn sich nun diese einen Sandhaufen dächten, von der Gröfse der Erde, dabei sämtliche Meere und alle Vertiefungen ausgefüllt bis zum Gipfel der höchsten Berge, so würden sie gewifs um so mehr annehmen, dafs keine Zahl zur Hand sei, die Menge dieses Haufens noch zu überbieten.

Ich will nun mittelst Beweisen, denen Du beipflichten wirst, darthun, dafs unter den von mir benannten Zahlen einige nicht nur die Zahl eines Sandhaufens übertreffen, welcher an Gröfse der Erde gleich kommt, sondern selbst die Zahl eines Haufens, der so gross ist wie die Welt.

Es ist Dir ja bekannt, dafs die meisten Sternkundigen unter dem Ausdruck Welt eine Kugel verstehen, deren Centrum der Mittelpunkt der Erde und deren Radius eine gerade Linie zwischen den Mittelpunkten von Erde und Sonne ist. In seiner Schrift

---

[1]) Dies ist das sogenannte Archimedische Prinzip, welches für die Mechanik der Flüssigkeiten von derselben fundamentalen Bedeutung ist, wie das Hebelgesetz (Satz 7) für die Mechanik der festen Körper. Satz 11—15 finden sich im ersten Buch von den schwimmenden Körpern. Ausgabe von Nizze, Seite 225—228.

[2]) Unter Zugrundelegung von Nizzes Ausgabe der archimedischen Werke frei bearbeitet. Siehe auch Bd. II d. Grdr. (1. Aufl.) S. 35.

wider die Sternkundigen sucht nun Aristarch von Samos[1]) dieses zu widerlegen und zu beweisen, dafs die Welt ein Vielfaches der oben bezeichneten Kugel sei. Er gelangt zu der Annahme, die Fixsterne samt der Sonne seien unbeweglich, die Erde aber werde in einer Kreislinie um die Sonne, welche inmitten ihrer Bahn stehe, herumgeführt. Der Durchmesser der Fixsternkugel nun möge sich zu demjenigen der Welt[2]) verhalten, wie der letztere zum Durchmesser der Erde. Ich behaupte nun: Wenn es auch eine Sandkugel gäbe von der Gröfse der Aristarchischen Fixsternsphäre, so läfst sich doch eine Zahl angeben, deren Gröfse selbst die Menge der Körner in der gedachten Kugel übertrifft.

Folgendes wird vorausgesetzt:

1. Der Umfang der Erde ist geringer als 3 Millionen Stadien[3]).

Da man nämlich, wie Dir wohl bekannt ist, zu zeigen versucht hat, der Umfang der Erde betrage etwa 300,000 Stadien[4]), so will ich die Vorgänger überbieten und will annehmen, er sei zehnmal so grofs.

2. Die Sonne ist gröfser als die Erde, letztere ist gröfser als der Mond.

In dieser Annahme stimme ich mit den meisten Sternkundigen überein[5]).

3. Der Sonnendurchmesser ist nicht gröfser als das Dreifsigfache des Monddurchmessers[6]).

4. Der Sonnendurchmesser ist gröfser als die Seite eines Tausendecks, das in dem gröfsten Kreise der Weltkugel beschrieben wird.

---

1) Aristarch, um 270 v. Ch. in Samos geboren, hat die heliocentrische Theorie schon $1^1/_2$ Jahrtausend vor Kopernikus, und zwar, wie aus dieser Stelle des Archimedes hervorgeht, sehr klar ausgesprochen. Erhalten ist von seinen Werken nur die Schrift: „Über die Gröfsen und Entfernungen der Sonne und des Mondes“. Übersetzt und erläutert von A. Nokk.

2) In dem oben angegebenen, für die meisten Sternkundigen geltenden Sinne.

3) Das griechische Längenmafs, 185 m betragend.

4) Eratosthenes, 275—194 v. Chr., welcher die erste Gradmessung anstellte, gab den Umfang der Erde zu 250.000 Stadien an; doch ist nicht bekannt, ob griechische oder ägyptische Stadien gemeint waren. Genaueres siehe Bd. II d. Grdr. (1. Aufl.) S. 20 u. 21.

5) Nach der Berechnung des Aristarch ist die Sonne 7000mal gröfser, der Mond 27mal kleiner als die Erde.

6) In Wahrheit beträgt der Sonnendurchmesser etwa das Vierhundertfache des Monddurchmessers.

Dies nehme ich mit Aristarch an, nach welchem die Sonne wie der 720ste Teil des Tierkreises erscheint. Ich habe auch selbst den Winkel, unter welchem die Sonne gesehen wird, aufgenommen. Eine genaue Bestimmung desselben ist jedoch nicht leicht, weil weder das Auge, noch die Hände, noch die Mefsinstrumente zuverlässig genug sind. Doch hierüber wortreich zu sein, ist hier nicht am Platze. Es genügt mir, festgestellt zu haben, dafs der fragliche Winkel kleiner ist als der 164ste und gröfser als der 200ste Teil eines rechten Winkels [1]).

Nach der 2. und 3. Voraussetzung ist der Durchmesser der Sonne kleiner als 30 Erddurchmesser. Somit ist auch (nach 4) der Umfang des einem gröfsten Kreise der Weltkugel eingeschriebenen Tausendecks kleiner als 30,000 Erddurchmesser. Dann mufs aber der Durchmesser dieses Tausendecks oder der Welt [2]) kleiner sein als 10,000 Erddurchmesser; denn nur beim regelmäfsigen Sechseck ist der Durchmesser gleich dem dritten Teil des Umfangs, bei einem regelmäfsigen Viereck mit mehr Seiten ist er aber kleiner.

Nach der ersten Voraussetzung ist der Umfang der Erde geringer als 3 Millionen Stadien, somit der Durchmesser kleiner als 1 Million Stadien, da der Durchmesser eines Kreises geringer ist als der dritte Teil des Umfangs; folglich beträgt auch der Durchmesser der Welt weniger als 10,000 Millionen Stadien.

Wir wollen nun die Sandkörner so fein annehmen, dafs 10,000 erst die Gröfse eines Mohnkorns besitzen; und zwar will ich den Durchmesser eines Mohnkorns gleich $^1/_{40}$ Zoll setzen. Bei einem Versuch, den ich anstellte, nahmen zwar schon 25 Körner, in gerader Linie nebeneinander gelegt, einen Zoll ein, ich möchte indessen meine Beweisführung gegen jeden Widerspruch sichern.

Nun besitzen wir die Namen der Zahlen bis zu einer Myriade ($= 10{,}000 = 10^4$) [3]) durch Überlieferung und zählen auch die Myriaden bis zu 10,000 Myriaden ($10^4 \cdot 10^4 = 10^8$). Um zu gröfseren

---

1) $\frac{1}{164} R = 33'$; $\frac{1}{200} R = 27'$. Der mittlere scheinbare Durchmesser der Sonne beträgt nach Messungen mit dem Heliometer 32′, welchem Wert die von Archimedes gefundene obere Grenze nahe kommt.

2) Im engeren Sinne; siehe Seite 12 d. Bds.

3) Wir wollen hier die Potenzschreibung anwenden, weil die archimedische Ausdrucksweise nicht so leicht verständlich ist.

Zahlen zu gelangen, betrachten wir 10,000 Myriaden als Einheit der zweiten Ordnung und setzen diese Einheit 10,000 Myriaden mal, so erhalten wir $10^8 . 10^8 = 10^{8 \cdot 2}$ als Einheit der dritten Ordnung. In derselben Weise würde sich 10,000 Myriaden mal $10^{8 \cdot 2} = 10^8 . 10^{8 \cdot 2} = 10^{8 \cdot 3}$ als Einheit der vierten Ordnung ergeben. $10^{8 \cdot 7}$ würde danach die Einheit der achten Ordnung, 1 die Einheit der ersten Ordnung sein.

Wir wollen nun zunächst berechnen, wieviel Sandkörner, von denen nach obiger Annahme eine Myriade den Raum eines Mohnkorns ausfüllt, sich in einer Kugel von einem Zoll Durchmesser unterbringen lassen. Wir setzen voraus, dafs sich der Durchmesser des Mohnkorns zu demjenigen dieser Kugel wie 1 : 40 verhält; nach einem bekannten geometrischen Satz verhalten sich zwei Kugeln wie die dritten Potenzen ihrer Durchmesser. $1^3 : 40^3 = 1 : 64{,}000$. In einer Kugel von einem Zoll Durchmesser haben demnach 64,000 Mohnkörner oder 64,000 Myriaden, das sind $6{,}4 . 10^4 . 10^4 = 6{,}4 . 10^8$, das sind weniger als $10 . 10^8$ Sandkörner Platz.

Eine Kugel von 100 Zoll Durchmesser verhält sich zu einer solchen von 1 Zoll Durchmesser wie $100^3 : 1^3 = 10^6 : 1$. Macht man also eine Sandkugel von 100 Zoll Durchmesser, so wird augenscheinlich die Zahl der Sandkörner, welche sie enthalten kann, nicht mehr als $10^6 . 10 . 10^8$ betragen.

Eine Kugel von $100 . 100 = 10{,}000$ Zoll Durchmesser würde demnach 10^6 mal so viel Körner fassen wie eine Kugel von 100 Zoll Durchmesser; das sind $10^6 . 10^6 . 10 . 10^8 = 10 . 10^4 . 10^8 . 10^8 = 10 . 10^4 . 10^{8 \cdot 2}$ oder zehn Myriaden Einheiten dritter Ordnung.

Weil aber ein Stadium kleiner ist als 10,000 Zoll, so erhellt, dafs die Menge des Sandes in einer Kugel, deren Durchmesser ein Stadium beträgt, geringer ist als 10 Myriaden Einheiten der dritten Ordnung.

In derselben Weise ergiebt sich für eine Kugel von:

10^2 Stadien	Durchmesser	$10^6 . 10 . 10^4 . 10^{8 \cdot 2}$	$=$	$1000 . 10^{8 \cdot 3}$
10^4 „	„	$10^6 . 1000 . 10^{8 \cdot 3}$	$=$	$10 . 10^{8 \cdot 4}$
10^6 „	„	$10^6 . 10 . 10^{8 \cdot 4}$	$=$	$10^6 . 10 . 10^{8 \cdot 4}$
10^8 „	„	$10^6 . 10^6 . 10 . 10^{8 \cdot 4}$	$=$	$10 . 10^4 . 10^{8 \cdot 5}$
10^{10} „	„	$10^6 . 10 . 10^4 . 10^{8 \cdot 5}$	$=$	$1000 . 10^{8 \cdot 6}$

10^{10} Stadien sind 10,000 Millionen Stadien. Der Durchmesser der Welt ist aber kleiner als 10,000 Millionen Stadien, so dafs auch die Welt weniger als $1000 . 10^{8 \cdot 6}$ Sandkörner enthalten mufs.

Da ferner der Durchmesser der Aristarchischen Fixsternkugel so oft den Weltdurchmesser (10,000 Millionen Stadien) an Gröfse

übertreffen soll, als letzterer den Durchmesser der Erde (1 Million Stadien) übertrifft, so verhält sich die Fixsternkugel zur Welt wie $10{,}000^3 : 1^3 = 10^{12} : 1$. Mithin enthält die erstere weniger als $10^{12} . 1000 . 10^{8 \cdot 6} = 1000 . 10^4 . 10^{8 \cdot 7} = 1000$ Myriaden Einheiten der achten Ordnung an Sandkörnern.

Dies nun, König Gelon, wird vermutlich dem grofsen Haufen und allen, welche der Mathematik nicht kundig sind, unglaublich erscheinen; denjenigen aber, welche mathematische Kenntnisse besitzen und über die Entfernung und Gröfse von Erde, Sonne und Mond, sowie des ganzen Weltgebäudes nachgedacht haben, wird es für bewiesen gelten. Deshalb habe ich geglaubt, es sei nicht unangemessen, diese Untersuchung anzustellen.

---

5. Die Begründung der Mechanik der Gase und Dämpfe.

Einige Abschnitte aus der Pneumatik Herons von Alexandrien [1].

Herons Pneumatik ist wohl das älteste auf uns gelangte Werk, welches sich eingehend mit Versuchen über die Eigenschaften der Luft und der Dämpfe beschäftigt. Die Frage, zu welcher Zeit Heron gelebt hat, ist zwar noch nicht entschieden, doch fällt seine Blütezeit wahrscheinlich um das Jahr 100 v. Chr. Die nachfolgenden Beschreibungen einiger wichtigen physikalischen Apparate zeichnen sich durch ihre Klarheit aus, wenn auch die Wirkung des Hebers noch nicht aus den Gesetzen des Luftdruckes, sondern nur aus dem Horror vacui erklärt werden konnte. Die Figuren sind auf Grund der handschriftlichen Abbildungen von dem Herausgeber der Pneumatik neu entworfen.

1. Der Äolsball.

Über einen geheizten Kessel soll eine Kugel sich um einen Zapfen bewegen.

Es sei $\alpha\beta$ (Fig. 1) ein mit Wasser gefüllter geheizter Kessel. Seine Mündung sei mit dem Deckel $\gamma\delta$ verschlossen; durch diesen

1) Herons von Alexandria Pneumatica et Automata. Griechisch und Deutsch herausgegeben von Wilhelm Schmidt. Teubner. Leipzig 1899.

sei eine gebogene Röhre $\varepsilon\zeta\eta$ getrieben, deren Ende luftdicht in eine Hohlkugel $\vartheta\varkappa$ eingefasst sei. Dem Ende η befinde sich ein auf dem Deckel befestigter Zapfen $\lambda\mu$ gegenüber. Die Kugel sei mit zwei gebogenen einander gegenüber stehenden Röhrchen versehen, die in sie münden und nach entgegengesetzten Richtungen gebogen sind (Fig. 2).

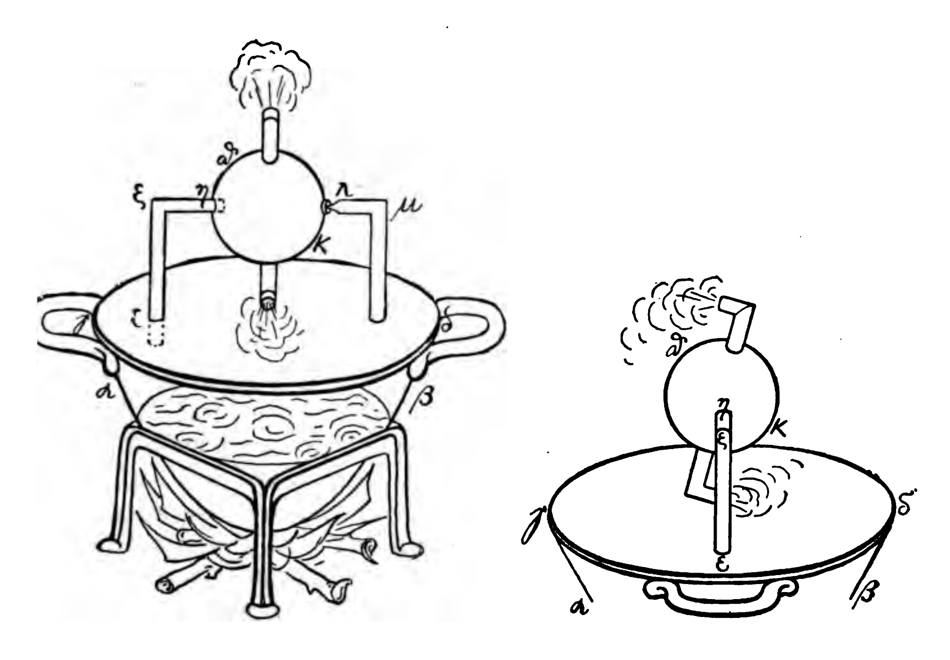


Fig. 1 und 2.
Heron verwendet den Dampf zum Betriebe einer maschinellen Einrichtung.

Wird nun der Kessel geheizt, so dringt infolgedessen der Dampf durch die Röhre $\varepsilon\zeta\eta$ in die Kugel, welche er zur Drehung bringt, sobald er durch die umgebogenen Röhren ausströmt.

2. Der Heronsball.

Durch die Mündung eines Gefäſses (Fig. 3) wird eine Röhre gesteckt und eingelötet, die fast bis auf den Boden reicht und in eine enge Mündung ausläuft.

Letztere halten wir nun mit dem Finger zu und gieſsen durch eine seitliche Öffnung Wasser in das Gefäſs. Darauf blasen wir in

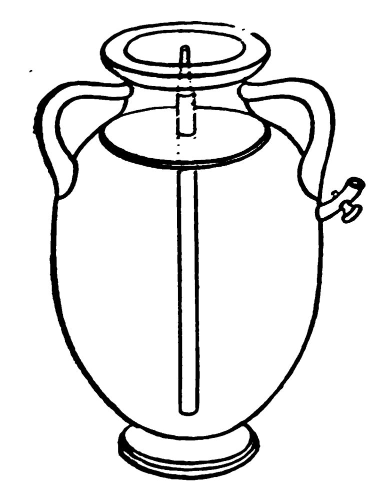


Fig. 3. Der Heronsball.

diese Öffnung hinein und schliefsen sie durch einen Hahn. Nehmen wir nun den Finger von der Mündung der senkrechten Röhre fort, so wird durch diese Röhre das Wasser von der hineingeblasenen, zusammengepressten Luft emporgetrieben.

3. Der Heber.

Es sei $\alpha\beta\gamma$ ein gebogener Heber, d. h. eine Röhre (Fig. 4), deren Schenkel $\alpha\beta$ in ein Gefäfs voll Wasser $\delta\varepsilon$ getaucht sei. Der Wasserspiegel liege in Höhe der Linie $\zeta\eta$. Der Schenkel $\alpha\beta$ des gebogenen Hebers wird bis zur Linie $\zeta\eta$ mit Wasser gefüllt, während der Abschnitt $\vartheta\beta\gamma$ voll Luft bleibt. Wenn wir nun durch die Mündung γ die erwähnte Luft mit dem Munde ansaugen, so wird auch die Flüssigkeit sich anschliefsen, weil ein kontinuierliches Vakuum, wie erwähnt, undenkbar ist. Und wenn die Hebermündung γ in gleicher Höhe mit dem Wasserspiegel $\zeta\eta$ liegt, so wird der Heber, obgleich er voll Wasser ist, doch nicht fliefsen, sondern gefüllt bleiben. So hat sich also der Heber $\alpha\beta\gamma$ mit Wasser gefüllt, obgleich das Steigen des Wassers unnatürlich ist. Wie eine Wage wird das Wasser in diesem Falle im Gleichgewicht bleiben, indem es bestrebt ist, auf der Seite $\vartheta\beta$ sich zu heben und auf Seite $\beta\gamma$ sich zu senken. Ist aber die äufsere Mündung des Hebers niedriger als der Wasserspiegel, so fliefst das Wasser aus, da das in dem Abschnitte $\varkappa\beta$ befindliche Wasser, welches schwerer ist als das in $\beta\vartheta$, letzteres überwältigt und anzieht. Doch fliefst es nur solange, bis die Mündung $\varkappa$ in gleicher Höhe mit dem Ni-

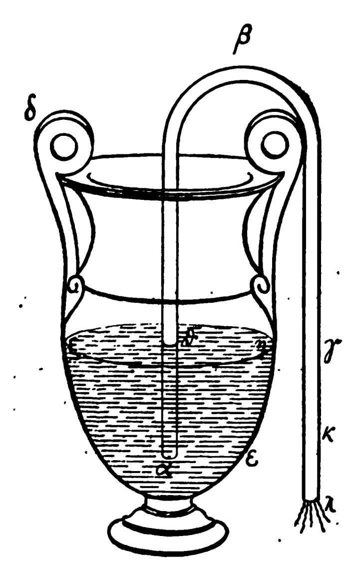


Fig. 4. Herons Abbildung eines Hebers.

veau des Wassers liegt. Dann wird es aus dem schon erwähnten Grunde wieder aufhören auszufliefsen. Ist aber die äufsere Mündung der Röhre niedriger als α, wie z. B. λ, so fliefst das Wasser, bis der Spiegel bis zur Mündung α sinkt.

Wenn das ganze im Gefäfs enthaltene Wasser ablaufen soll, so werden wir den Heber so weit senken, dafs die Mündung α bis auf den Boden des Gefäfses reicht. Sie mufs nur so weit davon abstehen, als nötig ist, um Wasser durchzulassen.

---

6. Die naturwissenschaftlichen Kenntnisse des Altertums werden von Plinius gesammelt.

Abschnitte aus dem 12. 14. und 33. Buche der Naturgeschichte des Plinius[1].

Cajus Plinius Secundus wurde 23 n. Chr. in Como geboren, widmete sich dem Staats- und Kriegsdienst und wurde bei dem im Jahre 79 n. Chr. erfolgten Ausbruch des Vesuv ein Opfer seiner Wifsbegierde. In seiner Naturgeschichte, welche 37 Bücher umfafst, stellt Plinius sich die Aufgabe, das zerstreute Wissen seiner Zeit zu sammeln und zu sichten. Durch die mühevolle Lösung dieser Aufgabe hat er sich ein grofses Verdienst erworben, wenn ihm auch der Vorwurf nicht erspart werden kann, dafs er oft kritiklos zusammenträgt und den Stoff nicht immer beherrscht. Der Grundgedanke, welcher das Werk durchzieht, ist der, dafs die Natur des Menschen wegen alles erzeugt zu haben scheine. In den hier gebrachten Abschnitten, die vom Weinstock und vom Golde handeln, tritt dies besonders hervor, da diese Naturkörper kaum als solche, sondern vorzugsweise in ihrer Beziehung zum Menschen betrachtet werden. Näheres über Plinius siehe Bd. II. d. Grdr. (1. Aufl.) S. 52 u. f.

Wälder sind von alters her als Tempel betrachtet worden und noch jetzt weiht ländliche Einfalt jeden durch Schönheit hervorragenden Baum einer Gottheit. Noch heute ist die Eiche dem Jupiter, der Lorbeer Apoll und der Ölbaum Minerva heilig. Von den Bäumen empfangen wir das erfrischende Öl und den Wein;

1) Nach der Ausgabe von Sillig frei übersetzt von Friedrich Dannemann.

mit dem Holz, das sie liefern, durchfurchen wir das Meer und erbauen daraus unsere Häuser; ja aus Holz wurden früher sogar die Bildnisse der Götter hergestellt. Es wird erzählt, dafs die Gallier zuerst in Italien eingefallen seien, weil ein Jüngling, der in Rom die Bildhauerkunst erlernt, ihnen getrocknete Feigen und Trauben mitgebracht habe; und es ist begreiflich, dafs sie, um in den Besitz dieser Dinge zu gelangen, selbst den Krieg nicht gescheut haben.

Der Weinstock zumal ist nirgends von so hervorragender Güte wie in Italien; mit Recht wurde er seiner Gröfse wegen immer zu den Bäumen gezählt. In Populonium erblickt man eine aus einem einzigen Rebenstamme verfertigte Bildsäule des Jupiter, und in Metapontum wurde der Tempel der Juno von Säulen aus Rebenholz getragen. Durch jährliches Beschneiden hält man indes den Weinstock kurz, so dafs die gesamte Kraft in die Trauben geleitet wird. Im Lande der Campaner werden die Reben an Pappeln gezogen, durch deren Äste sie in vielfachen Windungen emporstreben, so hoch, dafs der Winzer beim Anmieten sich Scheiterhaufen und Grabhügel ausbedingt. Dafs man die Arten der Trauben zählen könne, hat nur Demokrit geglaubt, als er sich rühmte, sämtliche in Griechenland wachsenden zu kennen; alle anderen Gewährsmänner halten sie für zahllos, was in Anbetracht der vielen Weinsorten der Wahrheit näher kommen wird.

Dafs dem einen dieser, dem anderen jener Wein besser gefällt, dürfte wohl niemand bezweifeln. So zog der göttliche Augustus den Setiner allen übrigen Marken vor. In zweiter Linie kam der Falerner, welcher seinen Ruf insbesondere einer sorgsamen Pflege verdankte. Letzterer ist heute nicht mehr so gesucht, weil man mehr auf Ergiebigkeit als auf Güte sieht. Er allein unter allen Weinen läfst sich anzünden.

Was die Griechen Nachwein nennen, kann eigentlich nicht als Wein bezeichnet werden, da derselbe aus mit Wasser zerriebenen Trestern gewonnen wird. Man unterscheidet mehrere Arten; entweder setzt man den Trestern soviel Wasser zu, wie dem zehnten Teil des erhaltenen Mostes entspricht, und keltert nach Ablauf eines Tages von neuem; oder man nimmt ein Drittel des Mostbetrages an Wasser und kocht den gewonnenen Saft dementsprechend ein. Kein so hergestellter Wein wird länger als ein Jahr getrunken. Auch aus den Früchten anderer Bäume bereitet man Wein. Da ist vor allem der Palmwein zu nennen, den der Parther, Inder, kurz das ganze Morgenland trinkt; man stellt ihn

aus Datteln her, welche mit Wasser zerrieben und ausgepreſst werden. Ebenso wird der Feigenwein gemacht. Selbst aus Birnen und Äpfeln gewinnt man Wein, sowie aus Mispeln, den Früchten des Vogelbeerbaums und aus verdünntem Honig.

Es erübrigt noch, von der Herstellung des Weines zu sprechen, worin es die Griechen zu einer Kunst gebracht haben. In Afrika nimmt man dem Wein seine Schärfe durch Zusatz von Gips, an einigen Orten auch durch Kalk, in Griechenland sucht man ihm durch Marmor Milde zu verleihen. Des Ansehens halber fügt man auch noch Farbstoffe hinzu. Sehr verschieden wird auch der Wein nach seiner Bereitung im Keller behandelt.

Als gesündestes Getränk bietet uns die Natur das Wasser, dessen sich alle übrigen Geschöpfe bedienen. Wir dagegen erzeugen mit vieler Mühe und Arbeit einen Stoff, der dem Menschen die Besinnung nimmt und Tausende dem Laster opfert. Ja! damit man nur möglichst viel davon trinken kann, mildert man ihn und ersinnt Reizmittel; selbst Gift wird genommen, um die Trinkgier zu erhöhen; verzehren doch einige sogar Schierling, um durch die Furcht vor dem Tode zum Trinken gezwungen zu werden. So wird im Wein aus bloſser Gier geschlemmt und sogar durch Preise der Rausch herbeizuführen gesucht. Andere reden sich um den Hals; sie vermögen nicht, ihre Zunge im Zaume zu halten, wieviele auch schon ins Verderben geraten sind. Als Folgen der Trunksucht gelten Blässe, herabhängende Wangen und zitternde Hände, welche den gefüllten Pokal verschütten. Vor vierzig Jahren, als Tiberius Claudius regierte, war es Sitte geworden, nüchtern zu trinken, indem man den Wein den Speisen vorangehen lieſs. Wurde dies doch sogar von Ärzten, welche sich durch etwas Neues empfehlen wollten, gebilligt. Bei uns machte sich ein gewisser Mailänder, der alle Ämter von der Prätur bis zum Prokonsulat bekleidet hatte, dadurch einen Namen, daſs er drei Congius[1]) austrank, weshalb er den Spitznamen Tricongius erhielt. Kaiser Tiberius damals schon ernster, in der Jugend aber zum Trinken geneigt befand sich unter den Zuschauern. Man glaubt, daſs Tiberius den Lucius Piso mit der Sorge für die Stadt betraute, weil letzterer zwei Tage und zwei Nächte bei einem kaiserlichen Gelage ausgehalten hatte.

Auch die westlichen Völker genieſsen berauschende Getränke welche sie aus erweichtem Getreide herstellen. Dies geschieht,

[1]) Ein römisches Flüssigkeitsmaſs von 3,28 l Inhalt.

sowohl in Gallien als auch in Spanien unter verschiedener Benennung aber zum gleichen Zweck. Die Ägypter haben ähnliche Getränke aus Getreide erfunden, es fehlt daher keinem Teile der Welt an Berauschungsmitteln, indem man leider überall den erfinderischen Geist in den Dienst des Lasters gestellt hat. Zwei Flüssigkeiten thun dem menschlichen Körper besonders wohl, innerlich der Wein und äufserlich das Öl, beide entstammen dem Pflanzenreich, doch gewährt das Öl gröfseren Nutzen. Auch auf seine Darstellung hat man viel Fleifs und Mühe verwandt; um wie viel mehr man jedoch auf die Erfindung von Getränken bedacht gewesen ist, geht daraus hervor, dafs man deren 195 kennt, während es viel weniger Ölarten giebt.

Jetzt soll von den Metallen, den Reichtümern und den Mitteln zur Wertbestimmung der Gegenstände die Rede sein. Während an dem einen Orte nach Schätzen gegraben wird, weil alles Gold, Silber und Erz verlangt, sucht man an anderen Stellen Eisen, das für Krieg und Mord brauchbarer ist als Gold. So dringen wir in alle Adern der Erde ein, unterwühlen den Boden, auf dem wir leben, und wundern uns noch, dafs derselbe Risse bekommt und erzittert, als ob sich dieses nicht aus dem Unwillen der heiligen Mutter Erde erklären liefse. Besser wäre es, das Gold ganz abzuschaffen; wird es doch, wie die berühmtesten Schriftsteller erklären, von allen Besseren geschmäht und nur zum Verderben der Menschheit verwendet. Viel glücklicher war dieselbe, als es nur Tauschhandel gab, wie es noch zur Zeit Trojas nach Homers glaubwürdiger Angabe der Fall war.

Lange war die Menge des Goldes in Rom nur gering. Als man nach der Einnahme der Stadt durch die Gallier den Frieden erkaufte, konnten nicht mehr als 1000 Pfund aufgebracht werden, während 307 Jahre später Marius nach Brandschatzung des Kapitols und der Tempel 14000 Pfund nach Praeneste schaffen liefs, welche Sulla bei seinem Triumphzug mit sich führte. Aufserdem hatte letzterer am Tage vorher 15000 Pfund Gold und 150000 Pfund Silber als Beute aus seinen übrigen Siegen in die Stadt bringen lassen. Wer den Frevel beging, den ersten Golddenarius herzustellen, ist nicht bekannt. Das römische Volk bediente sich vor der Besiegung des Pyrrhus nicht einmal gemünzten Silbers. König Servius liefs zuerst Kupfer prägen. Es wurde mit dem Bilde eines Stückes Vieh bezeichnet, wodurch das Wort Pecunia entstanden ist. Mit dem Gelde entstand die Habsucht und ein auf Wucher beruhendes, gewinnbringendes Nichtsthun; sehr bald artete

die Habsucht aus und wurde zur Geldgier. So ereignete es sich, dafs Septimulgus, der zum Hause des Cajus Gracchus gehörte, das abgeschnittene Haupt des letzteren dem Opimius brachte, um es sich mit Gold aufwiegen zu lassen. Zuvor hatte er jedoch Blei in den Mund gefüllt und so dem Verwandtenmord noch einen Betrug hinzugefügt.

Manches ist auch zu unseren Zeiten geschehen, was die Nachwelt für unglaublich halten wird. So hat Cäsar, der spätere Diktator, bei dem Leichenbegängnis seines Vaters den Kampfplatz ganz mit Silber ausschmücken lassen. Damals bekämpften auch zum erstenmal die Verbrecher die wilden Tiere mit silbernen Waffen, was jetzt sogar in den Municipien[1]) nachgeahmt wird. Kaiser Gajus liefs im Cirkus ein Gerüst aufstellen, an dem sich 24000 Pfund Silber befanden, und Nero bedeckte das Theater des Pompejus für die Dauer eines Tages mit Gold, als er es dem König von Armenien zeigen wollte.

Die grofse Vorliebe, welche man für das Gold hegt, verdankt dasselbe wohl nicht so sehr dem Aussehen, da ja das Silber heller und glänzender ist. Das Gold wird vielmehr deshalb allen übrigen Metallen vorgezogen, weil es allein in der Hitze nichts einbüfst, weder bei Feuersbrünsten, noch auf dem Scheiterhaufen. Ein anderer Grund seines Wertes besteht darin, dafs es sich durch den Gebrauch nur wenig abnutzt, während man mit Silber, Kupfer und Blei Linien ziehen kann und die Hände durch abgelöste Teilchen dieser Metalle unsauber werden. Übrigens wird das Gold allein gediegen gefunden, indes die übrigen nach der Förderung erst durch Feuer dargestellt werden müssen. Zudem beeinträchtigt weder Grünspan, noch Rost, noch ein anderes Umwandlungsprodukt seine vortrefflichen Eigenschaften. Selbst von salzigen und sauren Flüssigkeiten, die alles zerstören, wird es nicht angegriffen. Gold findet sich im Sande der Flüsse, z. B. des Po und des Tajo, ferner wird es in Schächten gegraben oder zwischen Bergtrümmern gefunden.

Alles Gold enthält mehr oder weniger Silber, im Durchschnitt ein zehntel bis ein achtel; in dem Golde Galläciens[2]) jedoch wird nur der sechsunddreifsigste Teil gefunden, weshalb es besonders hoch geschätzt wird.

---

[1]) Städte aufserhalb Roms, die von eigenen Behörden regiert wurden und zugleich das römische Bürgerrecht besafsen.

[2]) Eine Landschaft Galliens.

7. Die Naturwissenschaften im Mittelalter.

Eine Probe aus dem Buche der Natur von Konrad von Megenberg[1].

(Zweites Buch, 32. und 33. Kapitel im Auszuge.)

Konrad von Megenberg (1309—1378) gab im Jahre 1349 die erste deutsche Naturgeschichte heraus. Im 13. Jahrhundert war es besonders Albertus Magnus, von dem eine Wiederbelebung des Interesses für naturwissenschaftliche Dinge ausging. Die Hauptquelle Konrads ist eine von einem Schüler des Albertus in lateinischer Sprache abgefaſste Naturgeschichte[2]. Konrad tritt jedoch an das ihm vorliegende, wieder auf Aristoteles und Galen fuſsende Buch mit eigenem Urteil heran; er erhebt sich dadurch über die übrigen Schriftsteller seiner Zeit, welche nicht mehr als bloſse Kompilatoren waren. Der hier gebotene Abschnitt seines Werkes giebt uns eine geeignete Probe von dem das Mittelalter kennzeichnenden, selbst in aufgeklärten Köpfen anzutreffenden Fühlen und Denken.

Das vierte und allerunterste der Elemente ist das Erdreich. Es ist vom Himmel dreihundertneuntausend dreihundert und fünfundsiebzig Meilen entfernt. Das haben viele heidnische und christliche Gelehrte bestätigt. Niemand darf dies für eine falsche Behauptung und frevelhafte Rede halten, denn es ist mit groſser Arbeit und unter Zuhilfenahme sinnreicher Instrumente von den Sternsehern gefunden. Gewöhnliche Leute aber, die wenig wissen, fertigen manche Wahrheit mit einem Gelächter ab. Sie glauben es auch nicht recht, daſs man auſserhalb der Stadt auf dem Felde die Höhe eines in der Stadt befindlichen Turmes mit Hilfe eines Spiegels bestimmen kann. Und doch ist dem so. Ebenso findet man auch die Entfernung des Himmels von der Erde. Die Erde ist das dem Menschen passendste Element, denn er wohnt auf der Erde wie Gott und die Engel über dem Himmel. Nur die Erde ist dem Menschen nicht feindlich gesinnt; die anderen Elemente dagegen schädigen ihn oft. Denn das Wasser ertränkt den

---

1) Conrad von Megenberg, Das Buch der Natur. Die erste Naturgeschichte in deutscher Sprache. In neuhochdeutscher Sprache bearbeitet und mit Anmerkungen versehen von H. Schulz. Greifswald 1897. Eine ältere Ausgabe ist die von Pfeiffer, Stuttgart 1861.

2) Die um 1250 erschienene Schrift „De naturis rerum“ des Thomas von Cantimpré.

Menschen, die schlechte Luft tötet ihn gleichfalls und das Feuer verbrennt ihn. Die Erde ist von Natur kalt und trocken, äufserlich unansehnlich und birgt doch in ihrem Innern viele schöne Dinge, wie die Edelsteine und die kostbaren Metalle. So besitzt auch mancher demütige Mensch innerlich einen grofsen Schatz. Das Erdreich ist sehr fruchtbar, denn nur auf der Erde können Früchte wachsen. Wie viel Meilen der Umfang der Erde beträgt und die Gröfse ihres Durchmessers habe ich an anderer Stelle angegeben[1]), ebenso auch den Grund, weshalb die Erde nicht unter unseren Füfsen weg auf den Himmel fällt. Wie das Herz mitten im Tierkörper, so liegt die Hölle mitten in der Erde. So sprechen die heiligen Lehrer.

Es ereignet sich häufig, dafs die Erde erbebt, so dafs die Burgen niederfallen und oft ein Berg auf den anderen stürzt. Die gewöhnlichen Leute wissen nicht, woher das kommt; deshalb fabeln sie, es gäbe einen grofsen Fisch, der seinen Schwanz im Munde halte und auf dem die Erde ruhe. Wenn er sich nun bewege oder umdrehe, so bebe die Erde. Das ist ein Märchen. Wir wollen deshalb angeben, wie es sich mit dem Erdbeben in der That verhält und welch wunderbare Folgen es haben kann. Das Erdbeben entsteht dadurch, dafs sich in den unterirdischen Räumen, namentlich in hohlem Gebirge, viel irdische Dünste ansammeln, und zwar in solcher Menge, dafs sie in den Höhlungen nicht verbleiben können. Sie stofsen deshalb überall gegen die Wände an, fliegen aus einer Höhle in die andere und nehmen so lange zu, bis sie ein ganzes Gebirge ausfüllen. Das Zunehmen der Dünste wird durch die Kraft der Gestirne, besonders des Mars und des Jupiter veranlafst. Wenn nun die Dünste lange Zeit in den Höhlen rumoren, so wird ihr Andrang schliefslich so heftig, dafs sie mit Gewalt nach aufsen durchbrechen und einen Berg auf den anderen stürzen. Vermögen sie nicht durchzubrechen, so verursachen sie doch eine heftige Erschütterung.

Es giebt zwei Arten von Erdbeben. Entweder schwankt der Erdboden langsam wie ein Schiff hin und her. Ein solches Erdbeben ist für Burgen und andere Baulichkeiten weniger gefährlich. Die Dünste schieben dann die Erde in kräftigem Andrang vor sich her und lassen darauf im Drängen wieder nach. Die andere Art besteht darin, dafs die Erde in schnellen Stöfsen erzittert, wie wenn einer den anderen mit den Händen schüttelt.

---

1) In einem gleichfalls deutsch verfafsten, die „Deutsche Sphära“ genannten Handbuch der Astronomie.

Dies ist für die Gebäude sehr gefährlich, denn davon stürzen die Mauern ein. In diesem Falle jagt ein Dunst den anderen und stöfst ihn rasch von einer Seite zur andern.

Dafs es sich in der That so verhält, ersehen wir aus deutlichen Anzeichen. Erstens saust und zischt es in der Erde vor einem Erdbeben oft so stark als zischten hunderttausend Schlangen; oder es brüllt in der Erde, wie wenn greuliche Ochsen brüllen. Dies rührt daher, dafs der Dunst in der Erde sich in Bewegung setzt und sich durch alle Spalten zwängt, die ihm im Wege stehen. Zweitens wird die Sonne am Tage verdunkelt oder rot gefärbt, weil der dicke der Erde entstammende Rauch zwischen der Sonne und unserem Standort in die Luft aufgefahren ist. Drittens wird die Luft nach einem Erdbeben so vergiftet, dafs viele Leute davon sterben. Wenn nämlich der Dunst lange Zeit unter der Erde abgeschlossen bleibt, so verfault er und wird giftig. Wir sehen das bei lange verschüttet gewesenen Brunnen. Wenn man sie behufs Reinigung wieder öffnet, sterben häufig die ersten Arbeiter, die zum Reinigen hinuntersteigen.

Das Erdbeben bewirkt viele wunderbare Dinge. Erstens werden von dem beim Erdbeben aufsteigenden Dunst vielfach Menschen und Tiere in Stein verwandelt, besonders in Salzstein und namentlich im Gebirge und in der Nähe von Salzbergwerken. Es ist die starke, übermächtige Gewalt des Dunstes, der die Tiere so verwandelt. So lehren die Meister der Naturwissenschaft. Ebenso erzählte mir jemand, dafs auf einer hohen Alpe wohl fünfzig Menschen und Rinder in Stein verwandelt wären, und dafs die Viehmagd noch unter einem Rinde dasäfse wie in dem Augenblick, da beide zu Stein wurden. Zweitens fahren bei einem Erdbeben häufig Flammen und glimmende Asche aus der Erde hervor, die Häuser, Dörfer und Städte verbrennen können. Drittens wird oft während des Erdbebens Sand und Staub in Menge aus der Erde herausgeschleudert, so dafs ein ganzes Dorf verschüttet werden kann.

---

8. Die Aufstellung des heliocentrischen Weltsystems.

Nikolaus Kopernikus, Über die Kreisbewegungen der Weltkörper[1]).

A. Vorrede an den Papst[2]).

Mit der Reformation und mit der Renaissance beginnt auch für die Naturwissenschaften eine neue Zeit. An der Schwelle derselben steht Nikolaus Kopernikus, der Begründer der neueren Astronomie. Kopernikus wurde am 19. Februar (alten Stils) 1473 in Thorn geboren, studierte in Krakau Medizin, in Wien Astronomie und hielt sich dann mehrere Jahre in Italien auf, dem Boden, auf welchem damals Kunst und Wissenschaft ihre Wiedergeburt feierten. Später wurde er Domherr in Frauenburg (Ostpreufsen), wo er mehr als 30 Jahre dem Ausbau seines Weltsystems widmete und am 24. Mai des Jahres 1543 starb.

Die Ergebnisse seiner Beobachtungen und seines Nachdenkens hat Kopernikus in dem Werke „Über die Kreisbewegungen" niedergelegt. Hier seien nur die Vorrede und das 10. Kapitel des 1. Buches im Auszuge wiedergegeben. Die Ausbreitung der Kopernikanischen Lehre erfolgte besonders durch Galilei (Siehe Abschnitt 9 d. Bds.). Näheres über Kopernikus siehe Bd. II. d. Grdr. (1. Aufl.) S. 90 u. f.

Heiligster Vater, ich kann mir zur Genüge denken, dafs gewisse Leute, sobald sie erfahren, dafs ich in diesen meinen Büchern der Erdkugel Bewegungen beilege, sogleich erklären möchten, ich sei mit solcher Meinung zu verwerfen. Mir gefällt nämlich das Meinige nicht so sehr, dafs ich nicht wohl erwägen sollte, was andere darüber urteilen werden. Als ich daher mit mir selbst überlegte, für was diejenigen, welche die Meinung von der Unbeweglichkeit der Erde als bestätigt annehmen, es halten werden, wenn ich behaupte, die Erde bewege sich, so schwankte ich lange, ob ich meine Abhandlungen, die ich zum Beweise ihrer Bewegung geschrieben habe, herausgeben sollte. Fast schien es mir besser,

1) De revolutionibus orbium coelestium: Übersetzt und mit Anmerkungen von C. L. Menzzer. Herausgegeben von dem Kopernikus-Verein zu Thorn. Thorn 1879.

2) Gemeint ist Paul III.

dem Beispiele der Pythagoräer zu folgen, welche die Geheimnisse der Philosophie nur ihren Verwandten und Freunden mündlich zu überliefern pflegten. Als ich dies reiflich überlegte, bewog mich fast die Verachtung, welche ich wegen der Neuheit und der scheinbaren Widersinnigkeit meiner Meinung zu fürchten hatte, das fertige Werk ganz bei Seite zu legen.

Aber meine Freunde brachten mich davon wieder ab und ermahnten mich, dafs ich mein Buch herausgeben sollte, welches bei mir nicht neun Jahre nur[1]), sondern bereits in das vierte Jahrneunt hinein verborgen gelegen hatte. Dasselbe verlangten von mir nicht wenige andere ausgeichnete und sehr gelehrte Männer, indem sie mich ermahnten, dafs ich nicht länger wegen der gehegten Besorgnis mich weigern sollte, mein Werk dem allgemeinen Nutzen der Mathematiker zu weihen.

Aber Deine Heiligkeit wird vielleicht nicht so sehr darüber verwundert sein, dafs ich es gewagt habe, diese meine Nachtarbeiten zu Tage zu fördern, nachdem ich mir bei der Ausarbeitung derselben so viele Mühe gegeben habe, sondern erwartet vielmehr von mir zu hören, wie es mir in den Sinn gekommen ist, gegen die angenommene Meinung der Mathematiker, ja beinahe gegen den gemeinen Menschenverstand, mir eine Bewegung der Erde vorzustellen. Deshalb will ich Deiner Heiligkeit nicht verhehlen, dafs mich zum Nachdenken über eine neue Art, die Bewegungen der Weltkörper zu berechnen, nichts anderes bewogen hat, als dafs die Mathematiker bei ihren Untersuchungen hierüber unter einander nicht einig sind. Denn erstens sind sie über die Bewegung der Sonne und des Mondes so ungewifs, dafs sie die Gröfse des vollen Jahres nicht abzuleiten vermögen. Zweitens wenden sie bei der Feststellung der Bewegungen, sowohl der Sonne und des Mondes als auch der fünf Wandelsterne, weder dieselben Grund- und Folgesätze, noch dieselben Beweise an. Die einen bedienen sich nämlich nur der konzentrischen, die andern der exzentrischen und epicyklischen[2]) Kreise, durch welche sie jedoch das Erstrebte nicht völlig erreichen. Auch konnten sie die Hauptsache, nämlich die Gestalt der Welt und die Symmetrie ihrer Teile weder finden noch

---

[1]) Anspielung auf das Horazische nonumque prematur in annum.

[2]) In dem Bestreben, die ungleichförmig erscheinenden Bewegungen der Planeten auf gleichförmige Bewegungen zurückzuführen, nahm man an, diese Himmelskörper beschrieben Kreise, deren Mittelpunkt sich gleichzeitig der Peripherie eines zweiten Kreises entlang bewege; die so entstehenden Linien nennt man Epicyklen.

berechnen. Es ging ihnen so, als wenn jemand von verschiedenen Orten her Hände, Füſse, Kopf und andere Glieder, zwar sehr schön, aber nicht im richtigen Verhältnisse gezeichnet, nähme und, ohne daſs sie sich irgend entsprächen, vielmehr ein Monstrum als einen Menschen daraus zusammensetzte.

Als ich nun über diese Unsicherheit der mathematischen Überlieferungen lange nachgedacht hatte, gab ich mir die Mühe, die Bücher aller Philosophen, deren ich habhaft werden konnte, von neuem zu lesen, um nachzusuchen, ob nicht irgend einer einmal der Ansicht gewesen wäre, daſs die Bewegungen der Weltkörper anders verliefen. Da fand ich denn zuerst bei Cicero, daſs jemand geglaubt habe, die Erde bewege sich. Nachher fand ich auch bei Plutarch, daſs andere ebenfalls dieser Meinung gewesen seien. Hierdurch veranlaſst, fing auch ich an, über die Beweglichkeit der Erde nachzudenken, obgleich die Ansicht widersinnig schien. Wuſste ich doch, daſs schon anderen vor mir die Freiheit vergönnt gewesen war, beliebige Kreisbewegungen zur Ableitung der Erscheinungen der Gestirne anzunehmen. Ich war der Meinung, daſs es auch mir wohl erlaubt wäre, zu versuchen, ob unter Voraussetzung irgend einer Bewegung der Erde, zuverlässigere Ableitungen für die Kreisbewegung der Himmelskörper gefunden werden könnten als bisher. Und so habe ich denn unter Annahme der Bewegungen, welche ich im nachstehenden Werke der Erde zuschreibe, und durch viele und lange fortgesetzte Beobachtungen endlich gefunden, daſs wenn die Bewegungen der übrigen Wandelsterne auf einen Kreislauf der Erde bezogen und dieser dem Kreislaufe jedes Gestirns zu Grunde gelegt wird, nicht nur die Erscheinungen der Wandelsterne daraus folgen, sondern daſs dann auch die Gesetze und Gröſsen der Gestirne und alle ihre Bahnen und der Himmel selbst so zusammenhängen, daſs in keinem seiner Teile, ohne Verwirrung der übrigen Teile und des ganzen Welltalls, irgend etwas verändert werden könnte. Ich zweifle nicht, daſs geistreiche und gelehrte Mathematiker mir beipflichten werden, wenn sie gründlich erkennen und erwägen wollen, was zum Erweise dieser Gegenstände in vorliegendem Werke von mir beigebracht ist. Damit aber Gelehrte und Ungelehrte sehen, daſs ich durchaus niemandes Urteil scheue, so wollte ich diese meine Nachtarbeiten lieber Deiner Heiligkeit als irgend einem andern widmen, weil Du auch in diesem sehr entlegenen Winkel der Erde, in welchem ich wirke, an Würde des Ranges und an Liebe zu allen Wissenschaften und zur Mathematik für den Erhabensten

gehalten wirst, so dafs Du durch Dein Ansehen und Urteil die Bisse der Verleumder leicht unterdrücken kannst, wenn auch das Sprichwort sagt, es gebe kein Mittel gegen den Bifs der Verleumdung.

B. Über die Ordnung der Himmelskreise[1].

Mir scheint durchaus beachtenswert, was Martianus Capella[2] und einige andere Lateiner sehr wohl wufsten. Er glaubte nämlich, dafs Venus und Merkur sich um die Sonne als ihren Mittelpunkt bewegen und deswegen von ihr nicht weiter fortgehen können, als es die Kreise ihrer Bahnen erlauben, da sie nicht wie die anderen die Erde umkreisen. Es würde dann die Bahn Merkurs von derjenigen der Venus, welche mehr als doppelt so grofs ist, umschlossen sein.

Geht man hiervon aus und bezieht Saturn, Jupiter und Mars auf denselben Mittelpunkt, während man die grofse Ausdehnung ihrer Bahnen ins Auge fafst, die aufser Merkur und Venus auch die Erdbahn umschliefsen, so wird man die Erklärung ihrer Bewegungen nicht verfehlen. Es steht nämlich fest, dafs Saturn, Jupiter und Mars der Erde immer dann am nächsten sind, wenn sie des Abends aufgehen, d. h. wenn sie in Opposition mit der Sonne treten oder die Erde zwischen ihnen und der Sonne steht, dafs sie aber am weitesten von der Erde entfernt sind, wenn sie des Abends untergehen, wir also die Sonne zwischen ihnen und der Erde haben. Dies beweist hinreichend, dafs der Mittelpunkt ihrer Bahn der Sonne zugehört und derselbe ist, auf welchen auch Venus und Merkur ihre Bahnen beziehen. Da somit alle sich auf einen Mittelpunkt beziehen, so ist es notwendig, dafs der Raum, welcher zwischen dem Kreise der Venus und dem des Mars übrig bleibt, die Erde mit dem sie begleitenden Monde und allem, was unter dem Monde sich befindet, aufnimmt. Denn wir können den Mond, der unstreitig der Erde am nächsten steht, in keiner Weise von ihr trennen, zumal da wir in jenem Raum für ihn ausreichenden Platz finden. Wir scheuen uns daher nicht, zu behaupten, dafs das Ganze, welches die Mondbahn einschliefst, mit der Erde als Mittelpunkt zwischen den Planeten jenen grofsen Kreis in jährlicher Bewegung um die Sonne durchläuft und sich um den

---

1) Auszug aus dem 10. Kapitel des ersten Buches der „Kreisbewegungen“.

2) Martianus Capella lebte im 5. Jahrhundert n. Chr.

Weltmittelpunkt bewegt, in welchem die Sonne unbeweglich ruht. Dafs somit dasjenige, was als Bewegung der Sonne erscheint, in der Bewegung der Erde seine Erklärung findet. Der Umfang der Welt aber ist so grofs, dafs jene Entfernung der Erde von der Sonne, während sie im Verhältnis zur Gröfse der anderen Planetenbahnen eine merkliche Ausdehnung hat, mit der Fixsternsphäre verglichen verschwindet. Ich halte dies alles für leichter begreiflich, als wenn der Geist durch eine fast endlose Menge von Kreisen zersplittert wird, was diejenigen zu thun gezwungen sind, welche die Erde in der Mitte der Welt festhalten. Wenn alles dieses fast unbegreiflich und gegen die Meinung vieler sein sollte, so werde ich es, so Gott will, klarer als die Sonne machen, wenigstens denjenigen, die in der Mathematik nicht unwissend sind.

Die Sphären ordnen sich aber in folgender Weise: [siehe Anmerkung[1]) der nächsten Seite.]

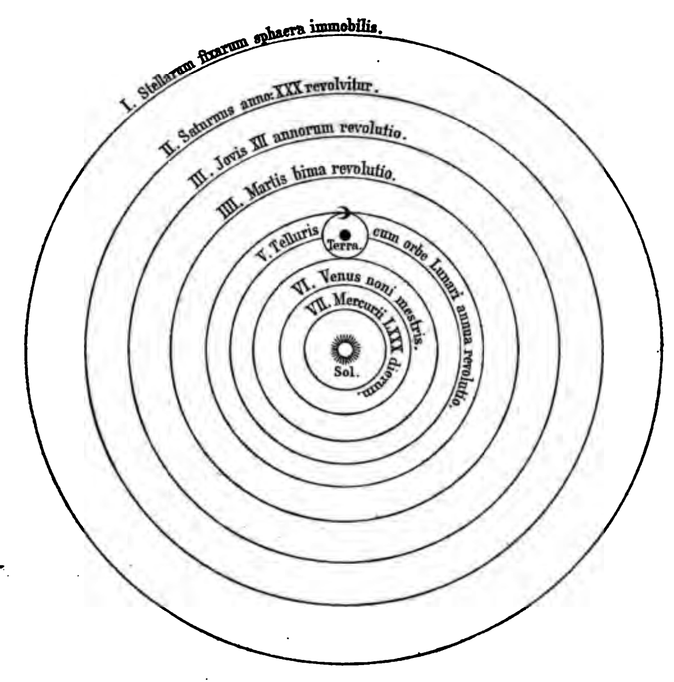


Fig. 5. Das Kopernikanische Weltsystem.
(Aus Kopernikus' Werk über die Bewegung der Weltkörper.)

Die erste und höchste von allen Sphären ist diejenige der Fixsterne, sich selbst und alles enthaltend und daher unbeweglich,

als derjenige Teil des Weltalls, auf welchen die Bewegung und die Stellung aller übrigen Gestirne bezogen wird.

---

[1]) Zum Vergleich sei hier die Anordnung des Weltalls nach dem Ptolemäischen System der Abbildung des Kopernikus gegenübergestellt:

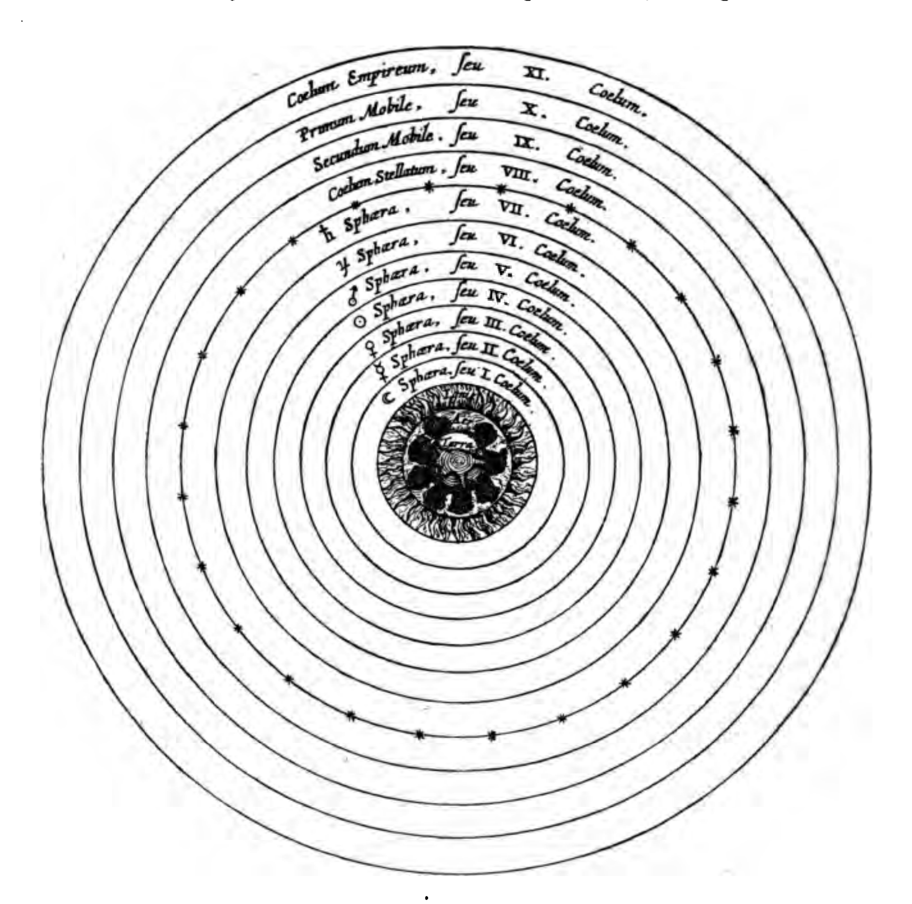


Fig. 6. Das Ptolemäische Weltsystem.

Dem astronomischen Teil von Guerickes „de vacuo spatio“ [siehe Bd. II. d. Grdr. (1. Aufl.) S. 176] entnommen.

☾ = Mond,	Umlaufszeit	1/12	Jahr
☿ = Merkur,	„	1/4	„
♀ = Venus,	„	2/3	„
☉ = Sonne,	„	1	„
♂ = Mars,	„	2	Jahre
♃ = Jupiter,	„	12	„
♄ = Saturn,	„	30	„

Es folgt der äufserste Planet, Saturn[1]), welcher in 30 Jahren seinen Lauf vollendet; hierauf Jupiter mit einem zwölfjährigen Umlauf; dann Mars, welcher in zwei Jahren seine Bahn beschreibt. Die vierte Stelle nimmt der jährliche Kreislauf ein, in welchem die Erde mit der Mondbahn als Epicykel enthalten ist. An fünfter Stelle kreist Venus in neun Monaten. Den sechsten Platz nimmt Merkur ein, der in einem Zeitraum von achtzig Tagen seinen Umlauf vollendet. In der Mitte aber von allem steht die Sonne. Denn wer möchte in diesem schönsten Tempel diese Leuchte an einen anderen oder besseren Ort setzen.

So lenkt in der That die Sonne, auf dem königlichen Throne sitzend, die sie umkreisende Familie der Gestirne. Wir finden also in dieser Anordnung einen harmonischen Zusammenhang, wie er anderweitig nicht gefunden werden kann. Denn hier kann der eingehende Beobachter bemerken, warum das Vor- und Zurückgehen beim Jupiter gröfser erscheint als beim Saturn und kleiner als beim Mars und wiederum bei der Venus gröfser als beim Merkur. Aufserdem warum Saturn, Jupiter und Mars, wenn sie des Abends aufgehen, der Erde näher sind als bei ihrem Verschwinden in den Strahlen der Sonne. Vorzüglich aber scheint Mars, wenn er des Nachts am Himmel steht, an Gröfse dem Jupiter gleich zu sein, während er bald darauf unter den Sternen zweiter Gröfse gefunden wird. Und dies alles ergiebt sich aus derselben Ursache, nämlich aus der Bewegung der Erde. Dafs aber an den Fixsternen nichts von derselben zur Erscheinung kommt, ist ein Beweis für ihre unermefsliche Entfernung, welche selbst die Bahn der jährlichen Bewegung oder deren Abbild für unsere Augen verschwinden läfst[2]).

---

[1]) Die aufserhalb des Saturn befindlichen Planeten Uranus und Neptun wurden erst 1781, beziehungsweise 1846 entdeckt.

[2]) Die hierin liegende Schwierigkeit wurde erst von Bessel gehoben, welcher nachwies, dafs die Fixsterne in der That infolge der jährlichen Bewegung der Erde ihren Ort, wenn auch in sehr geringem Mafse, verändern Siehe Nr. 61 d. Bds. und Bd. II [1. Aufl.] S. 369.

9. Die Ausbreitung der Kopernikanischen Lehre durch Galilei.

Galileo Galilei. Dialog über die beiden hauptsächlichsten Weltsysteme. 1632.

Gekürzte Wiedergabe des Abschnitts, welcher von der täglichen Bewegung der Erde handelt[1].

Trat uns in Kopernikus der Begründer der neueren Astronomie entgegen, so erblicken wir in Galilei den Schöpfer des dynamischen Teiles der Mechanik und den hervorragendsten Urheber der experimentellen (induktiven) Forschungsweise. Galileo Galilei wurde am 18. Februar 1564 in Pisa geboren, woselbst er 1581 seine Studien begann und 1589 eine Professur erhielt. Um das Jahr 1590 fallen seine Untersuchungen über den freien Fall, durch welche der bis dahin herrschenden aristotelischen Physik der Boden entzogen ward (Siehe 11). Im Beginn des 17. Jahrhunderts wurde in Holland das Fernrohr erfunden, wodurch Galileis zahlreiche astronomische Entdeckungen ermöglicht wurden (Siehe 10). Durch die im Jahre 1632 erfolgte Herausgabe des Dialogs über die beiden hauptsächlichsten Weltsysteme zog sich Galilei die Verfolgung seitens der Inquisition zu. Er wurde am 22. Juni 1633 gezwungen der Kopernikanischen Lehre abzuschwören und blieb, wenn auch im eigenen Hause wohnend, bis zu seinem am 8. Januar 1642 erfolgten Tode gefangen und überwacht. Näheres über Galilei siehe Bd. II. d. Grdr. (1. Aufl.) S. 115 u. f.

Salviati[2]). Beginnen wir also unsere Betrachtung mit der

---

1) Dialog über die beiden hauptsächlichsten Weltsysteme, das Ptolemäische und das Kopernikanische, von Galileo Galilei. Aus dem Italienischen übersetzt und erläutert von Emil Strauss. Leipzig, B. G. Teubner 1891. Der Titel des Originals lautet: Dialogo di Galileo Galilei sopra i due massimi sistemi del mondo, Ptolemaico e Copernicano. MDCXXXII.

2) Galilei liebte es, seine Ideen in Gesprächsform einzukleiden. Ästhetische und didaktische Gründe, sowie das Vorbild der platonischen Dialoge mögen ihn dazu veranlaſst haben. Auſserdem sprachen auch Opportunitätsrücksichten für diese Art der Veröffentlichung. Salviati und Sagredo sind Freunde und Anhänger Galileis, denen er im Dialog ein Denkmal setzt, indem er sie zu Trägern seiner Ansichten macht. Simplicio, eine fingierte Persönlichkeit, ist der Verfechter der zu Galileis Zeiten überwuchernden, dem blinden Autoritätsglauben huldigenden Büchergelehrsamkeit.

Erwägung, dafs, welche Bewegung auch der Erde zugeschrieben werden mag, dennoch wir, als deren Bewohner und somit als Teilnehmer an ihrer Bewegung, von dieser unmöglich etwas merken können, vorausgesetzt, dafs wir nur irdische Dinge in Betracht ziehen. Demgegenüber ist es freilich ebenso notwendig, dafs scheinbar diese nämliche Bewegung ganz allgemein allen anderen Körpern und sichtbaren Gegenständen zukommt, die von der Erde getrennt deren Bewegung nicht mitmachen. Die richtige Methode, um zu erforschen, ob man der Erde eine Bewegung zuschreiben kann und welche, besteht also darin, dafs man untersucht, ob sich an den Körpern aufserhalb der Erde eine scheinbare Bewegung wahrnehmen läfst, die gleichermafsen ihnen allen zukommt. Denn eine Bewegung, die beispielshalber nur am Monde wahrnehmbar ist, hingegen mit Venus oder Jupiter oder anderen Sternen nichts zu thun hat, kann unmöglich der Erde eigentümlich sein, noch sonst wo ihren Sitz haben als im Monde. Nun giebt es eine solche ganz allgemeine, alle anderen beherrschende Bewegung, nämlich diejenige, welche Sonne, Mond, die anderen Planeten, die Fixsterne, kurz das gesamte Weltall mit alleiniger Ausnahme der Erde insgesamt von Ost nach West innerhalb eines Zeitraums von vierundzwanzig Stunden auszuführen scheinen. Diese nun, soweit es wenigstens beim ersten Blick den Anschein hat, könnte ebenso gut eine Bewegung der Erde allein sein, wie der ganzen übrigen Welt mit Ausnahme der Erde. Denn bei der einen Annahme wie bei der anderen würden sich dieselben Erscheinungen ergeben. Ich will vom Allgemeinsten ausgehend die Gründe vortragen, welche zu Gunsten der Bewegung der Erde zu sprechen scheinen. Wenn wir nur den ungeheuren Umfang der Sternensphäre betrachten im Vergleich zu der Kleinheit des Erdballs, welcher in jener viele Millionen mal enthalten ist, und sodann an die Geschwindigkeit der Bewegung denken, infolge deren in einem Tage und einer Nacht eine ganze Umdrehung sich vollziehen müfste, so kann ich mir nicht einreden, wie es jemand für vernünftiger und glaublicher halten kann, dafs die Himmelssphäre es sei, die sich dreht, der Erdball hingegen fest bleibt.

Simplicio. Ich begreife nicht recht, dafs jene mächtige Bewegung für die Sonne, den Mond, die anderen Planeten und die unzählbare Schar der Fixsterne so gut wie nicht vorhanden sein soll. Nennt Ihr denn das nichts, wenn die Sonne aus einem Meridian in einen anderen tritt, über diesen Horizont emporsteigt, unter jenen hinabsinkt, bald Tag bringt, bald Nacht, wenn

der Mond ähnliche Änderungen durchmacht und desgleichen die anderen Planeten und Fixsterne?

Salviati. Alle von Euch aufgezählten Veränderungen sind solche in Bezug auf die Erde. Um Euch davon zu überzeugen, denkt Euch nur die Erde weg. Es giebt dann keinen Auf- und Untergang der Sonne oder des Mondes, keine Horizonte, keine Meridiane, keinen Tag, keine Nacht; kurz, durch besagte Bewegung wird keinerlei Veränderung in dem Verhältnis des Mondes zur Sonne oder zu irgend welchen anderen Gestirnen hervorgerufen, seien es Planeten oder Fixsterne. Alle Veränderungen haben vielmehr Bezug auf die Erde, sie kommen im Grunde nur darauf hinaus, dafs die Sonne erst für China, dann für Persien, nachher für Ägypten, Griechenland, Frankreich, Spanien, Amerika u. s. w. sichtbar wird und dafs ein gleiches mit dem Monde und den übrigen Himmelskörpern geschieht. Es spielt sich genau derselbe Vorgang in ganz derselben Weise ab, wenn man, ohne einen so grofsen Teil des Weltalls zu behelligen, den Erdball sich um sich selber drehen läfst. — Die Schwierigkeit verdoppelt sich aber, insofern eine zweite sehr bedeutende hinzutritt. Wenn man nämlich jene gewaltige Bewegung dem Himmel beilegt, mufs man notwendigerweise diese als entgegengesetzt den besonderen Bewegungen der sämtlichen Planeten ansehen, die alle unstreitig ihre eigene Bewegung von West nach Ost haben, und zwar eine sehr gemächliche und gemäfsigte. Läfst man hingegen die Erde sich um sich selber bewegen, so fällt der Gegensatz der Bewegungen hinweg.

Die Unwahrscheinlichkeit verdreifacht sich durch völligen Umsturz derjenigen Ordnung, welche alle Himmelskörper beherrscht, bei denen die Kreisbewegung vollkommen sicher gestellt ist. Je gröfser nämlich in einem solchen Falle die Sphäre ist, um so längere Zeit nimmt der Umlauf in Anspruch, je kleiner, um so kürzere. Saturn, dessen Bahn an Gröfse die aller Planeten übertrifft, vollendet sie in dreifsig Jahren. Jupiter dreht sich in seinem kleineren Kreise in zwölf Jahren um, Mars in zweien, der Mond in seinem viel kleineren innerhalb eines Monats. Ebenso deutlich sehen wir bei den Mediceischen Gestirnen[1]) das dem

[1]) Gemeint sind die Jupitermonde, welche Galilei 1610 entdeckt und zu Ehren des toskanischen Herrscherhauses Sidera Medicea genannt hat. Diese Monde mit ihrem Centralkörper erschienen Galilei wie ein Planetensystem im Kleinen und bestärkten ihn in dem Glauben an die Richtigkeit der Kopernikanischen Ansicht (Siehe 10).

Jupiter zunächst benachbarte seinen Umlauf in ganz kurzer Zeit, nämlich in etwa 42 Stunden, abmachen, das folgende in etwa $3^{1}/_{2}$ Tagen, das dritte in 7 und das entfernteste in 16 Tagen. Diese durchgehends befolgte Regel wird nun bestehen bleiben, wenn man die 24stündige Bewegung einer Drehung der Erde zuschreibt. Will man aber die Erde unbewegt lassen, so mufs man zuerst von der ganz kurzen Regel des Mondes zu immer gröfseren übergehen, zu der zweijährigen des Mars, von da zu der zwölfjährigen des Jupiter, von hier zu der dreifsigiährigen des Saturns, nun aber plötzlich zu einer unvergleichlich viel gröfseren Sphäre, der man gleichwohl eine volle Umdrehung in 24 Stunden beilegen mufs. Nimmt man aber eine Bewegung der Erde an, so wird die Geschwindigkeit der Perioden aufs beste gewahrt; von der trägsten Sphäre des Saturn gelangt man zu den ganz unbeweglichen Fixsternen. Man entgeht damit auch einer vierten Schwierigkeit, die notwendigerweise zugegeben werden mufs, sobald man die Sternensphäre beweglich annimmt. Ich meine die gewaltige Ungleichheit bei den Bewegungen eben dieser Sterne, von welchen einige sich aufserordentlich schnell in ungeheueren Kreisen drehen müfsten, andere sehr langsam in kleinen Kreisen, da sich die einen in gröfserer, die anderen in geringerer Entfernung vom Pole befinden. Das ist ebenfalls ein Übelstand; denn einerseits sehen wir alle diejenigen Sterne, deren Bewegung unzweifelhaft feststeht, sich sämtlich in gröfsten Kreisen drehen, andererseits scheint es wenig Zweck zu haben, Körper, welche sich kreisförmig drehen sollen, in eine ungeheure Entfernung vom Mittelpunkt zu setzen und sie dann sich in ganz kleinen Kreisen bewegen zu lassen. Und nicht nur die Gröfse der verschiedenen Kreise und somit auch die Geschwindigkeiten der Bewegungen sind bei diesen und jenen Fixsternen ganz verschieden, sondern dieselben Sterne ändern auch ihre Bahnen und ihre Geschwindigkeiten: darin besteht der fünfte Übelstand. Diejenigen nämlich, welche vor zweitausend Jahren im Äquator standen und folglich bei ihrer Bewegung gröfste Kreise beschrieben, müssen, weil sie heutzutage viele Grade von ihm entfernt sind, sich langsamer und in kleineren Kreisen bewegen. Nach nicht gar so langer Zeit wird es sogar geschehen, dafs einer von denen, die sich bisher stets bewegt haben, schliefslich mit dem Pole zusammenfällt und dann feststeht, nach einiger Zeit der Ruhe aber wiederum anfängt sich zu bewegen. Die anderen Gestirne indessen, die sich unzweifelhaft bewegen, haben alle, wie gesagt, als Bahn einen gröfsten Kreis und behalten diese unveränderlich bei.

Die Unwahrscheinlichkeit wird noch dadurch vermehrt, es mag dies als sechster Übelstand gelten, daſs man sich nicht vorstellen kann, welche Festigkeit jene ungeheure Sphäre[1]) haben muſs, in deren Tiefen so viele Sterne dermaſsen dauerhaft befestigt sind, daſs sie, ohne irgendwie ihre gegenseitige Lage zu ändern, trotz solcher Verschiedenheit der Bewegungen gleichmäſsig im Umschwung erhalten werden. Oder wenn der Himmel nach der sehr viel wahrscheinlicheren Annahme flüssig ist, mithin jeder Stern für sich eine Bahn beschreibt: nach welchem Gesetze und aus welchem Grunde sollen dann ihre Bahnen derart geregelt sein, daſs sie von der Erde aus gesehen wie in einer einzigen Sphäre enthalten erscheinen? Um dies zu erreichen, scheint es mir viel leichter und bequemer, sie unbeweglich statt wandelnd zu machen, wie etwa die Pflastersteine auf dem Markte leichter in Ordnung bleiben als die Kinderscharen, die sich darauf umhertreiben.

Schlieſslich das siebente Bedenken: Schreiben wir die tägliche Umdrehung der höheren Himmelsregion zu, so hätte man dieser eine solche Gewalt und Kraft zu verleihen, daſs sie die unzählbare Menge der Fixsterne mit sich fortreiſst, alles Körper von gewaltigstem Umfang und weit gröſser als die Erde, ferner alle Planeten, obgleich diese wie die Erde von Natur sich in entgegengesetzter Richtung bewegen. Somit würde sich einzig und allein der kleine Erdball hartnäckig und eigensinnig solcher Kraft widersetzen, eine Annahme, die, wie mir scheint, viel gegen sich hat. Ich wüſste auch nicht zu erklären, weshalb die Erde, ein freischwebender, um ihren Mittelpunkt balancierender Körper, der rings umgeben ist von einem flüssigen Mittel, nicht auch von der allgemeinen Umdrehung ergriffen werden sollte. Auf derartige Übelstände stoſsen wir aber nicht, wenn wir die Erde sich bewegen lassen, einen so kleinen, unbeträchtlichen Körper im Vergleich zum gesamten Weltall, welcher eben darum diesem keinerlei Gewalt anzuthun vermag.

Simplicio. Durchgehends stützt Ihr Euch, wie mir scheint, auf die gröſsere Einfachheit und Leichtigkeit, mit welcher die nämlichen Wirkungen sich vollziehen. Ihr meint, als Ursache sei die Bewegung der Erde allein ebenso ausreichend wie die Bewegung des gesamten übrigen Weltalls mit Ausnahme der Erde; den that-

[1]) Nach Ansicht der Aristoteliker bewegten sich um die ruhende Erdkugel konzentrische Kugelschalen, in welchen Mond, Sonne, Planeten und Fixsterne sich befanden. Auch stritt man sich, ob diese ursprünglich wohl nur gedachten Sphären aus festem oder flüssigem Stoff beständen.

sächlichen Vorgang haltet Ihr in jenem Falle für weit leichter, als in diesem. Für die Macht des Weltenlenkers aber, welche unendlich ist, ist es nicht minder leicht, das Weltall zu bewegen als die Erde oder einen Strohhalm. Wenn aber seine Macht unendlich ist, warum soll sich nicht lieber ein grofser als ein ganz kleiner Teil derselben offenbaren?

Salviati. Wenn ich gesagt hätte, das Weltall bewege sich nicht wegen der Ohnmacht seines Lenkers, so würde ich geirrt haben und Eure Rüge wäre angebracht. Ich gebe zu, dafs einer unendlichen Macht es ebenso leicht ist, hunderttausend zu bewegen wie eins. Was ich sagte, bezieht sich aber nicht auf den, der bewegt, sondern auf das, was sich bewegt. Darauf, dafs es einer unendlichen Macht besser anstehe, einen grofsen Teil ihrer selbst zu offenbaren als einen kleinen, entgegne ich, dafs im Verhältnis zum Unendlichen ein Teil nicht gröfser ist als ein anderer, wenn beide endlich sind. Es ist daher unstatthaft zu sagen, dafs hunderttausend ein gröfserer Teil einer unendlichen Zahl sei als zwei, wenngleich jenes fünfzigtausendmal gröfser ist als dieses. Wenn wir also die bewegten Körper in Betracht ziehen und unzweifelhaft die Bewegung der Erde als einen einfacheren Vorgang zu betrachten haben als die des Weltalls, wenn wir ferner unser Augenmerk auf so viele andere Vereinfachungen richten, die nur durch diese Annahme sich erreichen lassen, so mufs uns, nach dem sehr richtigen Grundsatz des Aristoteles: frustra fit per plura, quod potest fieri per pauciora [1]), die tägliche Bewegung der Erde viel wahrscheinlicher vorkommen als die des Weltalls mit Ausnahme der Erde.

---

10. Die Entdeckung der Jupitermonde und der Saturnringe.

Zwei Briefe Galileis [2]).

Venedig, 30. I. 1610.

Ich befinde mich jetzt in Venedig, um einige Beobachtungen, die ich mit meinem Fernglas am Himmel gemacht habe, drucken

1) Es ist zwecklos viele Mittel aufzuwenden, wo wenige ausreichen.

2) Aus Fabronis „Lettere inedite d'uomini illustri, Florenz. 1773", übersetzt von C. J. Jagemann. Siehe Geschichte des Lebens und der Schriften des Galileo Galilei von C. J. Jagemann, Weimar. 1783.

zu lassen. Ich bin von Verwunderung ganz aufser mir und sage Gott unendlichen Dank, dafs es ihm gefallen hat, so grofse und allen Jahrhunderten unbekannte Wunder durch mich entdecken zu lassen. Dafs der Mond ein der Erde gleicher Körper sei, dessen war ich schon versichert und zum Teil hatte ich es unserem Durchlauchtigsten Fürsten schon dargethan. Dies geschah aber auf eine sehr unvollkommene Weise, weil ich noch mit keinem so trefflichen Fernglase versehen war wie jetzt. Auch habe ich eine Menge nie gesehener Fixsterne, welche die Zahl derer, die man mit blofsen Augen sehen kann, mehr als zehnmal übertrifft, entdeckt und weifs nun, was die Milchstrafse ist, über welche sich die Weltweisen zu allen Zeiten gestritten haben. Was aber alle Grenzen der Verwunderung übersteigt, das sind die vier neuen Planeten, deren Dasein und Bewegung ich entdeckt habe. Diese neuen Planeten bewegen sich um einen anderen sehr grossen Stern[1]), wie sich Venus, Merkur und die anderen bekannten Wandelsterne um die Sonne bewegen.

Padua, d. 30./VII, 1610.

. . . Ich habe den 15. d. M. wieder angefangen, den Jupiter mit seinen vier Monden zu beobachten. Zugleich habe ich ein ganz aufserordentliches Wunder entdeckt, welches ich jetzt nur unserem Durchlauchtigsten Fürsten und Ihnen offenbaren will, bis ich es durch den Druck öffentlich bekannt mache, damit, wenn es je einem anderen begegnete, mir die Ehre, es zuerst entdeckt zu haben, nicht streitig gemacht werden kann. Ich habe entdeckt, dafs Saturn aus drei Kugeln besteht, die sich fast berühren, nie ihre Stelle gegen einander verändern und längs des Tierkreises in einer Reihe, wie oOo stehen, dergestalt, dafs der mittlere die anderen dreimal an Gröfse übertrifft[2]).

---

1) Gemeint ist Jupiter mit seinen Monden.

2) Richtig gedeutet wurde diese Erscheinung erst 50 Jahre später durch Huygens, welcher sie auf einen den Saturn umgebenden Ring zurückführte.

11. Galilei als Begründer der Dynamik.

Vom Fall der Körper[1]).

Die Schrift Galileis, welcher der nachfolgende Abschnitt entnommen ist, bezeichnet den bedeutendsten Fortschritt der Mechanik seit Archimedes. Hatte sich der letztere (Siehe 3) darauf beschränkt, die Prinzipien der Statik zu entwickeln, so gab Galilei hier die Lösung der wichtigsten Probleme der Dynamik, indem er den freien Fall, den Wurf und die Pendelbewegung untersuchte. Die „Unterredungen" sind wie der „Dialog" in Gesprächsform abgefaſst. Simplicio verficht die Ansichten des Aristoteles, Sagredo und insbesondere Salviati entwickeln dagegen die neuen Lehren Galileis.

Simplicio. Aristoteles behauptet, daſs verschiedene Körper in ein und demselben Mittel mit verschiedener Geschwindigkeit sich bewegen, und zwar stets proportional den Gewichten, sodaſs z. B. ein 10mal gröſseres Gewicht sich 10mal schneller bewege. Ferner nimmt er an, daſs die Geschwindigkeiten ein und derselben Masse in verschiedenen Mitteln sich umgekehrt wie die Dichtigkeiten verhalten, sodaſs, wenn z. B. die Dichtigkeit des Wassers 10mal so groſs ist als die der Luft, die Geschwindigkeit in der Luft 10mal gröſser sei als die im Wasser.

Salviati. Ich zweifle sehr daran, daſs Aristoteles je durch den Versuch geprüft hat, ob zwei Steine, von denen der eine ein 10mal so groſses Gewicht habe wie der andere, wenn man sie in ein und demselben Augenblick fallen lieſse, z. B. 100 Ellen hoch herab, so verschieden in ihrer Bewegung sein sollten, daſs bei der Ankunft des gröſseren der kleinere erst 10 Ellen zurückgelegt hätte.

Simplicio. Man sieht's aus Eurer Darstellung, daſs Ihr darüber experimentiert habt, sonst würdet Ihr nicht von Versuchen reden[2]).

---

1) Unterredungen und mathematische Demonstrationen über zwei neue Wissenszweige von Galileo Galilei. Aus dem Italienischen übersetzt und herausgegeben von A. v. Oettingen. Leipzig. Verlag von Wilhelm Engelmann 1890 (Ostwalds Klassiker der exakten Wissenschaften Nr. 11). Der Originaltitel lautet: Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze. Leyden 1638.

2) Galilei hatte vom schiefen Turm zu Pisa, der sich für seine Fallversuche vortrefflich eignete, eine halbpfündige Kugel und eine hundertpfündige Bombe herabfallen lassen, wobei letztere nur um wenige Zoll voraneilte.

Sagredo. Aber ich, Herr Simplicio, der ich keinen Versuch angestellt habe, versichere Euch, dafs eine Kanonenkugel von 100, 200 und mehr Pfund um keine Spanne vor einer Kugel von einem halben Pfund Gewicht die Erde erreichen wird, wenn beide aus 200 Ellen Höhe herabkommen.

Salviati. Ohne viele Versuche können wir durch eine kurze bindende Schlufsfolgerung nachweisen, wie unmöglich es sei, dafs ein gröfseres Gewicht sich schneller bewege als ein kleineres, wenn beide aus gleichem Stoff bestehen. Denn sagt mir, Herr Simplicio, gebt Ihr zu, dafs jeder fallende Körper eine von Natur ihm zukommende Geschwindigkeit habe, sodafs, wenn dieselbe vermehrt oder vermindert werden soll, eine Kraft angewendet werden mufs oder ein Hemmnis.

Simplicio. Unzweifelhaft hat ein Körper in einem gewissen Mittel eine bestimmte Geschwindigkeit, die nur durch einen neuen Antrieb vermehrt oder durch ein Hindernis vermindert werden kann.

Salviati. Wenn wir zwei Körper haben, deren Geschwindigkeit verschieden sei, so ist es klar, dafs wenn wir den langsameren mit dem geschwinderen vereinigen, dieser letztere durch jenen verzögert werden müfste, und jener, der langsamere, müfste vom schnelleren beschleunigt werden. Seid Ihr hierin mit mir einverstanden?

Simplicio. Mir scheint dieser Schlufs völlig richtig.

Salviati. Aber wenn dies richtig ist, und wenn es wahr wäre, dafs ein grofser Stein sich z. B. mit 8 Ellen Geschwindigkeit bewegt und ein kleinerer mit 4 Ellen, so würden beide vereinigt eine Geschwindigkeit von weniger als 8 Ellen haben müssen. Nun sind die beiden Steine zusammen doch gröfser als jener gröfsere Stein, der 8 Ellen Geschwindigkeit hatte; mithin würde sich nun der gröfsere[1]) langsamer bewegen als der kleinere, was gegen Eure Voraussetzung wäre. Ihr seht also, wie aus der Annahme, ein gröfserer Körper habe eine gröfsere Geschwindigkeit als ein kleinerer, ich Euch weiter folgern lafsen konnte, dafs ein gröfserer Körper sich langsamer bewege als ein kleinerer.

Simplicio. Ich bin ganz verwirrt, denn mir will es nun scheinen, als ob der kleinere Stein, dem gröfseren zugefügt, dessen Gewicht und daher durchaus auch dessen Geschwindigkeit vermehre, oder jedenfalls, als ob letztere nicht vermindert werden müsse.

---

[1]) Nämlich durch die Vereinigung der beiden Steine gebildete.

Salviati. Hier begeht Ihr einen neuen Fehler, denn es ist nicht richtig, dafs der kleine Stein das Gewicht des grofsen vermehre.

Simplicio. So? das überschreitet meinen Horizont.

Salviati. Keineswegs, sobald ich Euch von dem Irrtume, in dem Ihr Euch bewegt, befreit haben werde. Merket wohl, dafs man hier unterscheiden mufs, ob ein Körper sich bereits bewegt oder ob er in Ruhe ist. Wenn wir einen Stein auf eine Wagschale legen, so wird das Gewicht durch Hinzufügung eines zweiten Steines vermehrt, ja selbst die Zulage eines Stückes Werg wird das Gewicht anwachsen lassen. Wenn Ihr aber den Stein mitsamt dem Werg von einer grofsen Höhe frei herabfallen lafst, glaubt Ihr, dafs während der Bewegung das Werg den Stein drücken und dessen Bewegung beschleunigen wird, oder glaubt Ihr, dafs der Stein aufgehalten wird, indem das Wergstück ihn trägt? Fühlen wir nicht die Last auf unseren Schultern, wenn wir uns gegen die Bewegung derselben stemmen? Wenn wir aber mit derselben Geschwindigkeit uns abwärts bewegten, wie die Last auf unserem Rücken, wie kann dann die letztere uns drücken und beschweren? Seht Ihr nicht, dafs das ähnlich wäre, als wenn wir den mit der Lanze treffen wollten, der mit der Geschwindigkeit der Lanze vor uns herflieht? Zieht also den Schlufs, dafs beim freien Fall ein kleiner Stein den grofsen nicht drückt und nicht sein Gewicht vermehrt, wie es in der Ruhe der Fall ist.

Simplicio. Aber wenn der gröfsere Stein auf dem kleineren sich befinden würde?

Salviati. So würde er das Gewicht vermehren müssen, wenn seine Geschwindigkeit überwöge. Aber wir fanden schon, dafs, wenn die kleinere Last langsamer fiele, sie die Geschwindigkeit der grofsen vermindern müfste, und mithin die zusammengesetzte Masse weniger rasch sich bewegen würde als ein Teil, was gegen Eure Annahme spricht. Lafst uns also feststellen, dafs grofse und kleine Körper von gleichem spezifischen Gewicht mit gleicher Geschwindigkeit fallen.

Simplicio. Eure Herleitung ist wirklich vortrefflich, und doch wird es mir schwer zu glauben, dafs ein Bleikorn so schnell wie eine Kanonenkugel fallen soll.

Salviati. Ihr werdet, Herr Simplicio, nicht wie andere das Gespräch von der Hauptfrage ablenken und Euch an einen Ausspruch klammern, bei welchem ich um Haaresbreite von der Wirklichkeit abweiche. Aristoteles sagt: ein Eisenstab von 100

Pfund kommt aus einer Höhe von 100 Ellen herabfallend in einer Zeit an, in welcher ein einpfündiger Stab frei herabfallend nur 1 Elle zurückgelegt hat; ich behaupte, beide kommen bei 100 Ellen Fall gleichzeitig an. Ihr findet, dafs hierbei der gröfsere um 2 Finger breit vorauseilt, so dafs, wenn der gröfsere unten ankommt, der kleinere noch einen Weg von 2 Fingerbreit zurückzulegen hat. Ihr wollt jetzt mit diesen zwei Fingern die 99 Ellen des Aristotelischen Fehlers hinwegschmuggeln und nur von meiner kleinen Abweichung reden, den gewaltigen Fehler des Aristoteles aber verschweigen.

Simplicio. Vielleicht aber würde bei einer Fallhöhe von mehreren Tausend Ellen das eintreten, was bei kleineren nicht beobachtet wird.

Salviati. Wenn Aristoteles so etwas gemeint haben sollte, würdet Ihr ihm einen ganz neuen Irrtum zumuten, ja eine Unwahrheit. Da man solche senkrechten Erhebungen auf der Erde garnicht findet, so kann auch Aristoteles mit solchen nicht experimentiert haben, und doch will er uns von seinen Versuchen reden. Auch die andere Behauptung ist nicht minder falsch. Wenn der Satz wahr wäre, demgemäfs ein und derselbe Körper in Mitteln verschiedener Dichtigkeit wie z. B. Wasser und Luft, sich mit Geschwindigkeiten bewegte, welche diesen Dichtigkeiten umgekehrt proportional wären, so müfsten alle Körper, die in der Luft niederfallen, auch im Wasser sinken, was doch sehr falsch ist, da viele Körper in der Luft fallen, im Wasser dagegen emporsteigen.

Simplicio. Ich verstehe die Notwendigkeit Eurer Folgerung; aber Aristoteles spricht von solchen Körpern, die in beiden Mitteln fallen, und nicht von solchen, die in der Luft fallen, im Wasser aber steigen.

Salviati. Sagt mir, ob die Dichtigkeiten von Wasser und Luft überhaupt in einem bestimmten Verhältnis stehen; und wenn Ihr dieses bejaht, dann nehmt einen beliebigen Wert dafür an.

Simplicio. Gut, angenommen es sei zehn; dann wird ein Körper, der niederfällt, in der Luft sich 10 mal schneller bewegen als im Wasser.

Salviati. Jetzt denke ich mir einen Körper, der in der Luft fällt, im Wasser aber steigt, wie etwa ein Stück Holz, und überlasse Euch zu bestimmen, wie rasch er sich in der Luft bewegen soll.

Simplicio. Angenommen, es seien 20 Ellen Geschwindigkeit.

Salviati. Die Thatsache, dafs der Holzstab im Wasser nicht fällt, läfst mich erwarten, dafs Ihr zugeben werdet, es könne ein Stab aus anderem Stoff sich finden, der im Wasser wirklich mit 2 Ellen Geschwindigkeit sich bewegte.

Simplicio. Gewifs, nur mufs der Stoff schwerer sein als Holz.

Salviati. Eben das suche ich. Aber dieser zweite Stab, der im Wasser mit 2 Ellen Geschwindigkeit fällt, wie rasch würde er in der Luft fallen? Nach Aristoteles müfstet Ihr sagen, mit 20 Ellen Geschwindigkeit; aber letztgenannten Wert habt Ihr selbst dem Holze zuerkannt; also müfsten beide recht verschiedenen Körper mit gleicher Geschwindigkeit in der Luft sich bewegen. Wie stimmt das zum ersten Gesetz des Philosophen, demgemäfs verschiedene Körper in ein und demselben Mittel sich mit ganz verschiedener Geschwindigkeit bewegen, und zwar im Verhältnis ihrer Gewichte?

Sagredo. Da Herr Simplicio schweigt, so erlaube ich mir, eine andere Sache vorzubringen. Obwohl Ihr klar bewiesen habt, dafs Körper von ungleichem Gewicht in ein und demselben Mittel mit gleicher Geschwindigkeit fallen, so wird hierbei doch vorausgesetzt, sie seien aus demselben Stoffe oder von demselben spezifischen Gewicht, denn Ihr werdet uns nicht zumuten zu glauben, dafs ein Stück Kork sich ebenso schnell bewege wie ein Stück Blei. Da Ihr ferner uns überzeugt habt, wie unrichtig es ist, anzunehmen, dafs ein und derselbe Körper in verschiedenen Mitteln Geschwindigkeiten annehme, die den Widerständen umgekehrt proportional sind, so würde ich sehr zu wissen wünschen, welche Verhältnisse in diesen Fällen stattfinden.

Salviati. Nachdem ich mich von der Unwahrheit dessen überzeugt hatte, dafs ein und derselbe Körper in verschieden widerstehenden Mitteln Geschwindigkeiten erlange, die den Widerständen umgekehrt proportional sind, sowie von der Unwahrheit dessen, dafs Körper von verschiedenem Gewicht in ein und demselben Mittel diesen Gewichten proportionale Geschwindigkeiten erlangen, verband ich beide Erscheinungen, indem ich Körper von verschiedenem Gewicht in verschieden widerstehende Mittel brachte. Ich fand, dafs die erzeugten Geschwindigkeiten um so mehr von einander abweichen, je gröfser der Widerstand des Mittels ist, und zwar in solchem Betrage, dafs zwei Körper, die in der Luft nur sehr wenig verschieden fallen, im Wasser um das Zehnfache von einander abweichen können. Auch kommt es vor, dafs ein Körper in der Luft fällt, im Wasser dagegen schwebt, d. h. sich garnicht be-

wegt, ja sogar emporsteigt. Man kann leicht solche Holzarten oder knotige Stellen im Holze finden, die im Wasser schweben, während sie in der Luft schnell fallen. Ich habe mich bemüht, eine Stange Wachs, die sonst nicht untersinkt, mit Sandkörnern zu bekleben, bis das Gewicht gleich dem des Wassers ist und das Wachs in der Mitte des letzteren schwebt; trotz aller Mühe ist mir dies nicht gelungen. Ich weifs nicht, ob es einen anderen festen Stoff giebt, der genau die Dichtigkeit des Wassers besitzt, so dafs er überall in demselben schwebt.

Salviati. In solchen, wie in tausend anderen Verrichtungen sind manche Tiere uns überlegen. In Eurem Falle liefsen sich die Fische nennen, da sie in der Ausübung einer solchen Thätigkeit so gewandt sind, dafs sie nach Belieben sich im Gleichgewicht erhalten, nicht nur in reinem Wasser, sondern auch in verschiedenartig beschaffenem. Wie ich glaube, bewirken sie das, indem sie sich eines von der Natur zu diesem Zwecke ihnen verliehenen Organes bedienen, jener kleinen Blase nämlich, die durch eine ziemlich enge Öffnung mit dem Munde in Verbindung steht, so dafs sie je nach dem Zwecke Luft, die in der Blase enthalten ist, ausstofsen, oder wenn sie an die Oberfläche gekommen sind, neue Luft einziehen und sich so nach Belieben ins Gleichgewicht setzen.

Sagredo. Durch einen Kunstgriff habe ich einmal einige Freunde getäuscht, indem ich mich rühmte, das Wachs mit dem Wasser ins Gleichgewicht gebracht zu haben. Ich hatte zunächst Salzwasser genommen und darüber süfses Wasser gegossen. Da blieb der Wachsstab in der Mitte schweben; und sowohl, wenn man ihn zu Boden stiefs, als auch, wenn man ihn emporhob, strebte er zurück in die Mitte.

Salviati. Das ist ein ganz nützlicher Versuch. Wenn man mit den Eigenschaften des Wassers sich abgiebt und von dem verschiedenen spezifischen Gewicht spricht, so wird man mit einem Stabe die kleinsten Unterschiede nachweisen können, indem derselbe in dem einen Wasser sinkt, im andern emporsteigt. So genau kann der Versuch ausgeführt werden, dafs eine Zulage von 2 Gran Salz auf 6 Pfund Wasser den Stab aufsteigen lassen wird, der soeben noch gesunken war. Nicht nur die Auflösung eines schweren Stoffes bewirkt solches, sondern auch die einfache Erwärmung und Abkühlung.

Der Unterschied der Geschwindigkeiten verschiedener Körper von verschiedenem spezifischen Gewicht ist im allgemeinen gröfser

in den stärker widerstehenden Mitteln; im Quecksilber sinkt Gold allein, während alle anderen Metalle und Steine emporsteigen und schwimmen. Andererseits fallen Gold, Blei, Kupfer, Porphyr und andere schwere Körper mit fast unmerklicher Verschiedenheit in der Luft, Gold aus 100 Ellen Höhe kaum vier Fingerbreit früher als Kupfer. Angesichts dessen glaube ich, dafs wenn man den Widerstand der Luft aufhöbe, alle Körper ganz gleich schnell fallen würden.

Simplicio. Das ist eine gewagte Behauptung. Ich meinerseits werde nie glauben, dafs im luftleeren Raume eine Wollenflocke ebenso schnell wie Blei fallen wird[1]).

Salviati. Nur gemach, Herr Simplicio! Wir wollen die Bewegung der verschiedensten Körper in einem nicht widerstehenden Mittel untersuchen, sodafs alle Verschiedenheit auf die fallenden Körper zurückzuführen wäre. Und da nur ein Raum, der völlig luftleer ist, auch keinen anderen Stoff enthält, sei derselbe noch so fein und nachgiebig, geeignet erscheint, das zu zeigen, was wir suchen, und da wir solch einen Raum nicht herstellen können, so wollen wir prüfen, was in feineren und weniger widerstehenden Mitteln geschieht im Gegensatz zu anderen weniger feinen und stärker widerstehenden. Finden wir thatsächlich, dafs verschiedene Körper immer weniger verschieden sich bewegen, je nachgiebiger die Mittel sind, und dafs schliefslich trotz sehr grofser Verschiedenheit der fallenden Körper im allerfeinsten Mittel der allerkleinste, ja ein kaum noch wahrnehmbarer Unterschied verbleibt, dann scheint mir, dürfen wir mit grofser Wahrscheinlichkeit annehmen, dafs im Vakuum völlige Gleichheit eintreten werde. Ein schwerer Körper hat von Natur das Bestreben, sich gegen das gemeinsame Centrum schwerer Körper zu bewegen, d. h. gegen unseren Erdball, und zwar mit einer stetig und gleichmäfsig beschleunigten Bewegung, das heifst so, dafs in gleichen Zeiten gleiche neue Geschwindigkeiten hinzugefügt werden. Das tritt allemal ein, wenn alle zufälligen äufseren Hindernisse hinweggeräumt sind; unter diesen giebt es eins, welches sich nicht fortschaffen läfst, nämlich das des Mittels, in welchem der fallende Körper sich bewegen soll. Das Mittel setzt der Bewegung, auch wenn es nachgiebig und in Ruhe ist, einen Widerstand entgegen, der je nach Umständen gröfser oder kleiner ist, und zwar umso gröfser, je geschwinder es sich öffnen mufs, um den Körper hindurchzulassen.

[1]) Bekanntlich gehört dieser Nachweis zu den Versuchen, die heute im elementaren Physikunterricht angestellt werden.

[illegible]

[illegible] Seite 147 u. f.

[illegible] einhellige Meinung. Wie [illegible] Kraut wächst auch ohne [illegible] weiten Meer, Fische

[illegible] ist hier mit wesentlicher Kür[illegible] astrologischen Abschnitte wiedergegeben, [illegible] und Ausdrucksweise dem heutigen Standpunkt der [illegible] entsprechend geändert.

[illegible] Möglichkeit einer elternlosen oder Urzeugung war [illegible] allgemein verbreitet (Siehe Abschnitt 68 d. Bds.)

wachsen und darin umherschweben, so dafs auch der grofse öde Ozean nicht leer bleibt, sondern nach Gott des Schöpfers Wohlgefallen die grofsen Walfische und Meerwunder denselben durchwandern, so ist es auch mit der himmlischen, überall befindlichen Luft beschaffen. Sie besitzt nämlich das Vermögen, aus sich selbst die Kometen zu gebären, damit sie, wie weit sie auch sei, an allen Orten von den Kometen durchzogen werde und auf solche Weise nicht ganz leer bleibe.

Wenn sie etwa an einem Orte dick wird, so dafs die Sonne und die Sterne ihre Strahlen nicht hindurchschiefsen und auf der Erde leuchten können [Wie wir ja aus den Überlieferungen Beispiele haben, dafs die Sonne mehrere Tage nacheinander ja auch fast ganze Jahre Blutfarbe geschienen], dann ist es Zeit und bringt es dieser himmlischen Luft lebhafte Natur mit sich, dafs eine solche dicke Materie zusammengezogen, ihrer Natur nach erleuchtet und wie andere Sterne mit einer Bewegung begabt werde. Denn dafs die Kometen weit über dem Mond und tief im Himmel drinnen sind, ist von dem hochberühmten Tycho Brahe [1]) hinreichend erwiesen worden.

Die Philosophen, welche bei der alten Meinung beharren, mögen es mir nicht für übel nehmen, dafs ich eine neue Ansicht einführe, oder vielmehr die uralte Lehre des Anaxagoras und Demokrit wieder unter der Bank hervorziehe und dem Himmel zuschreibe, was man bisher nicht glauben wollte, dafs nämlich darin ebensowohl etwas neues entstehen könne, wie hier auf der Erde in dieser feuchten Luft [2]).

Zwar denjenigen, welche nicht Gelehrte von Beruf sind, ist es nicht zu verübeln, dafs sie nicht alles, was man täglich neues erfindet, durchlesen und begreifen können. Die Kalenderschreiber aber, wie auch etliche Universitätslehrer, sollten es nicht für eine

---

1) Dänischer Astronom (1546—1601) und Vorgänger Kepplers am Hofe Rudolfs des Zweiten. Seine Beobachtungen zeichneten sich durch eine bis dahin unerreichte Genauigkeit aus und bildeten die Grundlage von Kepplers Entdeckungen. Siehe Bd. II d. Grdr. (1. Aufl.) S. 153 u. f.

2) Aristoteles, der vielen zur Zeit Kepplers noch als Autorität galt, schrieb im Gegensatz zu den genannten Philosophen den Fixsternen ein wandelloses Sein zu und liefs die Welt des Werdens und Vergehens erst unter dem Monde beginnen. Die Planeten bekundeten dagegen nach ihm, zumal durch ihre ungleichmäfsige Bewegung, eine mittlere Stellung zwischen beiden Regionen. Diese Lehre des Aristoteles wurde besonders durch das Aufleuchten neuer Fixsterne in den Jahren 1572, 1600 und 1604 und deren späteres allmähliches Verschwinden ad absurdum geführt.

ausgemachte Sache ausgeben, dafs aller Kometen Materie gleich einem Nebel aus dem Erdboden hervorschwitze[1]).

Doch halte ich dafür, der Kometen Bewegung sei, obgleich sie dem Himmel angehören, geradlinig wie die einer Rakete, und nicht eine kreisförmige, wie diejenige der Planeten.

Ich nehme an, dafs der Himmel solcher Kometen so voll ist, wie das Meer voller Fische. Dafs man aber selten solcher Kometen ansichtig wird, geschieht wegen der unermefslichen Weite der himmlischen Luft. Daher kommt es, dafs nur diejenigen gesehen werden, welche nahe der Erde in der himmlischen Luft vorüberschiefsen.

Wenn nun eine solche durchsichtige Kugel im Himmel schwebt und die Sonne mit ihren geradlinigen Strahlen darauf trifft und sie durchdringt, so glaube ich, dafs solche Strahlen etwas von der Materie der Kometenkugel mit sich davon führen und also den Kometen bleichen, durchtreiben und endlich gar vertilgen, ebenso wie bei uns hier auf der Erde die Sonne alle Farben aus leinenen Tüchern vertilgt und vertreibt und sie also schneeweifs macht.

Wie gesagt, die Sonnenstrahlen durchdringeu den Körper des Kometen und nehmen augenblicklich etwas von deren Substanz mit sich ihren Weg hinaus, von der Sonne fort. Ich halte dafür, dafs daher der Schwanz des Kometen rührt, der sich immer von der Sonne abgekehrt erstreckt, denn es ist unmöglich, dafs die Sonnenstrahlen in der klaren, reinen, himmlischen Luft sichtbar werden sollten, wenn sie nicht eine Materie fänden, auf welche sie fielen.

Ebenso ist es unmöglich, dafs der Sonnenschein sich in der freien himmlischen Luft krümmen sollte, wie etliche Kometen-Schwänze krumm erscheinen, denn des Lichtes Fall und Strahlenschüsse geschehen in einer geraden Linie.

Deshalb ist es wahrscheinlicher, dafs solche gekrümmte Kometenschweife besagtermafsen ihre aus dem Kometen fliefsende Materie haben. Ein solcher Ausflufs kann aus mehreren Ursachen von der der Sonne entgegengesetzten Richtung abweichen, z. B. wenn ein Wind dreinbliese (was ich nur gleichnisweise anführe) oder wenn des Kometen Kopf einen so schnellen Lauf besäfse, dafs er die von den Sonnenstrahlen ausgetriebene Materie hinter sich liefse.

---

1) Man vergleiche hiermit die älteren Ansichten über die Bildung der Meteore nach Chladnis Darstellung in Abschnitt 30 dieses Buches.

Dafs der Schweif ein materieller Ausflufs des Körpers ist, bezeugen besonders diejenigen Kometen, welche mit ihren Schweifen blinken oder schiefsen wie ein Nordlicht. Das hat man nicht allein an dem grofsen Kometen im Jahre 1577 bemerkt, sondern Cardanus[1]) schreibt ausdrücklich von dem Kometen des Jahres 1556, dafs er keinen beständigen Schwanz gehabt, sondern geblinkt und geschossen habe, wie die Flammen in einer Feuersbrunst zu thun pflegen. Es bezeugt dies auch von dem jetzigen Kometen fast jedermann, der ihn mit Fleifs angeschauet, während ich mit meinem schlechten Gesicht den Schwanz nur sehen kann, wenn er einen Blink oder Schufs thut, da er dann lang genug wird und wohl zu sehen ist.

Hier läfst sich abermals die grofse Fahrlässigkeit des Haufens der Kalenderschreiber und etlicher Gelehrten unrühmlich sehen, die da mit sehenden Augen lieber blind sind als unserer jetzigen Zeit die Ehre gönnen und bekennen, dafs wir etwas mehr erfahren und erlebt haben wie Aristoteles und andere von den Alten. Diese bleiben halsstarrig dabei, der Komet sei eine brennende Fackel und sein Schwanz die Flamme derselben. Mit dieser täglich wiederholten Behauptung füllen sie alle Buchläden und betrügen so sich und andere. Denn obgleich der Schweif des Kometen, wie erwähnt, bisweilen flackert, ist er doch keine Flamme, sonst würde er sich nicht immer von der Sonne abkehren. Auch ist sein Flackern ganz anders als das einer Flamme und viel eher ein Blinken zu nennen.

Wenn es sich so verhält und die Materie des Kometen diese Beschaffenheit hat, so ist leicht zu entnehmen, worin seine natürliche Bedeutung und Wirkung besteht.

Ich will von vornherein nicht unbedingt in Abrede stellen, dafs auf etliche derartige Kometen grofse Landsterben natürlicherweise erfolgen können, wenn nämlich der Schwanz etwa die Erde berührte, während der Konjunktion des Kometen mit der Sonne, oder der Komet denselben an einen Ort des Himmels geworfen hätte, welchen später die Erde bei ihrem jährlichen Umlauf um die Sonne passieren müfste, sodafs die Luft verunreinigt würde. Da dies aber gar selten geschieht, so müssen wir nach einem anderen Grund suchen, um eine etwaige natürliche Wirkung der Kometen zu erklären.

---

[1]) Italienischer Physiker und Mathematiker (1501—1576).

Denn um die Wahrheit zu sagen, es will mir jene Erklärung fast so wenig einleuchten wie diejenige, welche sowohl Aristoteles als nach ihm die Kalenderschreiber geben, die nämlich lächerlicherweise annehmen, der Komet bringe deshalb Sturm, weil er ein brennendes Feuer sei; daſs ferner ein Komet der Erde ihre Kraft und Feuchtigkeit entziehe und von dem Rauche dieses Brandes die Luft vergiftet werde.

Ist etwas daran, daſs nach Ordnung der Natur besagte Zustände, wie Wind, Überschwemmung, Trockenheit und Pestilenz durch einen Kometen verursacht und also vorbedeutet werden, so muſs dies folgendermaſsen zugehen:

Wenn im Himmel etwas Seltsames entsteht, so empfindet solches und entsetzt sich gleichsam darüber die ganze Natur und alle lebhaften Kräfte aller natürlichen Dinge. Diese Sympathie mit dem Himmel erstreckt sich sonderlich auf diejenige lebhafte Kraft, welche in der Erde steckt und die inneren Zustände derselben beherrscht, infolgedessen dieselbe gleichsam entsetzt an einem Orte je nach dessen Beschaffenheit viel feuchte Dämpfe emportreibt, woraus Regen und Überschwemmung und dadurch allgemeine Landseuchen, Katarrh oder gar Pestilenz entstehen.

Auch der Mensch, wenn er selbst blind wäre und den Himmel nie gesehen hätte, hat doch dergleichen empfindliche und auf den Himmel weise aufmerkende Kräfte, welche durch solche von neuem im Himmel auftauchenden Kometen ebenfalls beunruhigt und bestürzt werden, und nicht allein zu unnatürlichen Bewegungen des Geblüts und anderer Säfte und infolgedessen zu Krankheiten, sondern auch zu starken Gemütserregungen Veranlassung geben.

Was aber die Beziehung des Kometen zum Menschengeschlecht anbelangt, so sage ich, daſs er von Gott darum an den Himmel gestellt ist, die Menschen alle miteinander und jeden insonderheit, den groſsen Haufen sowohl als dessen Regenten und Häupter, daran zu erinnern, daſs sie sterblich sind. Der Komet zeigt an, daſs die ganze Welt, ja der Himmel selbst, vergänglich ist und von einer Zeit zur anderen verwandelt wird. Darum sollten wir Menschen um so weniger zürnen, daſs wir als in diese vergängliche Welt gesetzte Geschöpfe auch vergänglich sind.

---

13. Gilbert erforscht die Natur des Magneten. 1600.

Über die Pole, die Teilung und die Anziehung des Magneten[1].

William Gilbert (1540—1603), der gelehrte Leibarzt der Königin Elisabeth, war einer der ersten, der auf dem Wege des Experiments die Natur zu erforschen suchte. Mit dem Erscheinen seines Buches über den Magneten (1600) beginnt die wissenschaftliche Behandlung der Lehre von der Elektricität und dem Magnetismus. Auch die Auffassung, dafs die Erde ein kugelförmiger Magnet sei, rührt von Gilbert her. Die Versuche mit seiner Terella[2]), von welchen der nachfolgende Auszug einige beschreibt, führten ihn zu dieser Annahme. Gilbert hob ferner den Unterschied zwischen magnetischer und elektrischer Anziehung hervor. Eine befriedigende, zu neuen Entdeckungen führende Theorie der von ihm beobachteten Erscheinungen vermochte Gilbert noch nicht zu geben. Der weitere Ausbau der von ihm erschlossenen Forschungsgebiete erfolgte besonders im 18. Jahrhundert (Siehe Abschnitt 32 und 33). Näheres über Gilbert siehe Bd. II d. Grdr. (1. Aufl.) S. 137.

Jeder Magnet hat einen nördlichen und einen südlichen Pol, einerlei, ob der Magnet stark oder schwach ist, ob er eine künstlich hervorgerufene oder zufällige Form besitzt, ob er lang, quadratisch, geglättet oder rauh ist. Da indes die Kugelform sowohl die vollkommenste ist, als auch der kugeligen Gestalt der Erde entspricht und für die Versuche sich am besten eignet, so will ich die wichtigsten an dem Stein zu beobachtenden Erscheinungen an einem kugelförmigen Magneten feststellen.

Man nehme also einen kräftigen Magnetstein von geeigneter Gröfse und gebe demselben mit einem zum Abrunden von Krystallen dienenden Werkzeug die Kugelform. Der so behandelte Stein ist das getreue und vollkommene Ebenbild der Erde; wir wollen ihn daher Terella[2]) nennen.

Um die den Polen der Erde entsprechenden Pole des Magneten zu finden, nehme man denselben in die Hand und lege einen

---

[1]) Aus „Gilbert, De magnete magneticisque corporibus et magno magnete tellure, London 1628", übersetzt von F. Dannemann.

[2]) Ein auf deutsch schlecht wiederzugebendes Diminutiv von Terra, die Erde.

dünnen Eisendraht über den Stein. Die Enden des Drahtes werden dann in Bewegung geraten und plötzlich zur Ruhe kommen. Den Stein bezeichne man dort, wo der Faden liegt und haftet, mit Ocker oder Kreide. Darauf bringe man die Mitte des Fadens an eine andere Stelle, sowie an eine dritte und vierte, und versehe jedesmal den Stein in der Längsrichtung des Fadens mit einem Striche. Diese Striche werden den Meridianen vergleichbare Linien auf der Terella darstellen, und es wird sich deutlich zeigen, dafs dieselben in den Polen des Magnetsteins zusammen laufen. In gleichem Abstande von diesen Polen läfst sich dann ein gröfster Kreis ziehen, der dem Äquator entsprechen würde.

Ein anderes Verfahren, die Pole aufzufinden, besteht darin, dafs man sich einer Magnetnadel bedient, die mit einer Vertiefung versehen und auf der Spitze einer Nadel so angebracht ist, dafs sie sich frei bewegen kann.

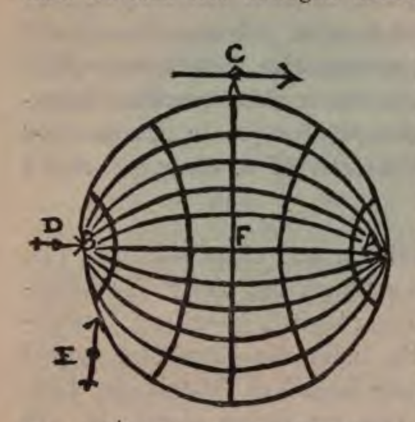


Fig. 7. Die Pole eines kugelförmigen Magneten aufzufinden. (Aus Gilbert, de magnete).

Dieser Kompafs wird so auf den Stein AB in C aufgestellt, dafs sich die Nadel im Gleichgewicht befindet. Darauf werde die Richtung der ruhenden Nadel mit Kreide bezeichnet, dann das Instrument auf eine andere Stelle gebracht und die Richtung wieder vermerkt. Geschieht dies an recht vielen Stellen, so wird man aus dem Zusammenlauf der Linien den einen Pol an dem Punkte A, den anderen bei B finden. Den Pol selbst zeigt auch die dem Steine genäherte Magnetnadel an, indem sie sich lebhaft rechtwinklig zur Oberfläche des Steines einstellt und auf den Pol und somit nach dem Mittelpunkt des Steines hinweist[1]).

Wie der eine Pol der Erde nach dem Gestirn des Nordpols[2]) gerichtet ist und immer nach einem bestimmten Punkte des Himmels hinschaut, während der andere nach der entgegengesetzten Gegend des Himmels blickt, so besitzt auch der Magnet das Vermögen, sich nach dem Nord- und Südpol einzustellen, wie es die Fig. 8 zeigt.

[1]) Gilbert, de magnete, Buch I, Kapitel III.

[2]) Das Sternbild des kleinen Bären, zu dem der Nordstern gehört.

Man lege einen Magnetstein A, nachdem man die Pole aufgefunden, in ein rundes Holzgefäfs BC und bringe denselben mit dem Gefäfs in einen gröfseren mit Wasser gefüllten Behälter, so dafs er unbehindert in der Mitte des letzteren schwimmt. Der Stein wird sofort mit dem Gefäfs, welches ihn trägt, in Bewegung geraten und sich so lange drehen, bis der Südpol nach Norden und der Nordpol nach Süden zeigt[1]).



Fig. 8. Einstellung eines schwimmenden Magneten.
(Aus Gilbert, de magnete).

Es ist bekannt, dafs der Magnet das Eisen anzieht; in derselben Weise zieht aber auch ein Magnetstein einen anderen an. Man lege einen Magnetstein, dessen Pole erkannt und bezeichnet sind, in ein passendes Gefäfs, so dafs er darin schwimmt. Die Pole mögen in die Ebene des Horizontes fallen. Man nehme den anderen Stein, dessen Pole ebenfalls festgestellt sind, in die Hand, so dafs der Südpol desselben gegen den Nordpol des schwimmenden gekehrt ist. Dann nähere man ihn von der Seite her. Sofort wird der schwimmende Stein darauf zustreben, bis er daran haftet, wenn man ihn nicht durch die davorgehaltene Hand an der Berührung hindert. Nähert man darauf den Nordpol des Steines, den man in der Hand hält, dem Südpol des schwimmenden, so erfolgt wieder eine Anziehung. Entgegengesetzte Pole ziehen sich also an. Wenn man aber den Südpol dem Südpol, und den Nordpol dem Nordpol in derselben Weise nähert, so entfernen sich die Steine von einander.



Fig. 9. Die Teilung eines Magneten.
(Aus Gilbert, de magnete.)

Man wähle einen länglichen Magnetstein AD, dessen Nordpol A, dessen Südpol D ist, und teile denselben in zwei gleiche

1) Gilbert, de magnete, Buch I, Kapitel IV.

Teile. Darauf lasse man den Teil AB in dem Gefäfs auf Wasser schwimmen. Man wird bemerken, dafs der Nordpol A nach Süden zeigt wie vorher und ebenso D nach Norden. B und C aber, die vorher miteinander verbunden waren, sind jetzt zum Nord- und Südpol geworden. Der Südpol B zieht den Nordpol C an. Ist kein Hindernis vorhanden und das Gewicht aufgehoben, wie es auf der Oberfläche des Wassers der Fall ist, so nähern sich diese Pole und vereinigen sich. Nähert man jedoch den Pol A dem Pole C des anderen Steines, so fliehen sie einander [1]).

Die Ursache der magnetischen Bewegungen ist von den Kräften des Bernsteins sehr verschieden. Die alten und auch neuere Schriftsteller erwähnen, dafs der Bernstein Spreu anzieht. Dasselbe thut auch der Gagat, welcher in England, Deutschland und in vielen anderen Ländern aus der Erde gegraben wird. Aber nicht nur diese beiden Stoffe ziehen kleine Körper an, sondern auch der Diamant, Sapphir, Rubin, Opal, Amethyst, Beryll und Bergkrystall zeigen das gleiche Verhalten. Ähnliche anziehende Kräfte scheint auch das Glas zu besitzen. Auch Schwefel und Harz ziehen an.

Alle diese Substanzen ziehen nicht blofs Spreu an, sondern auch sämtliche Metalle, Holz, Blätter, Steine, Erde, sogar Wasser und Öl, kurz alles, was durch unsere Sinne wahrgenommen werden kann. Damit man aber durch Versuche feststellen kann, wie diese Anziehung stattfindet und welches die Stoffe sind, die alle Körper auf solche Weise anziehen, richte man sich einen 3—4 Zoll langen Zeiger aus irgend einem Metall her und bringe denselben auf der Spitze einer Nadel, ähnlich wie bei einem Kompafs, leicht beweglich an. Nähert man dann diesem Zeiger Bernstein oder Bergkrystall, nachdem man sie etwas gerieben hat, so wird der Zeiger sofort in Bewegung geraten.

Der Magnet äufsert seinen Magnetismus ohne vorhergegangenes Reiben, sowohl im trockenen als im feuchten Zustande, in der Luft wie im Wasser, ja selbst, wenn die dichtesten Körper, seien es Platten aus Holz und Stein oder Scheiben aus Metall, dazwischen gebracht sind. Der Magnet wirkt nur auf magnetische Körper, während elektrische Substanzen alles anziehen [2]). Auch vermag der Magnet bedeutende Lasten zu tragen, während der elektrisierte Körper nur sehr kleine Gewichte anzuziehen vermag [3]).

[1]) Gilbert, de magnete, Buch I, Kapitel V.

[2]) Gilbert war nur die elektrische Anziehung bekannt, dafs sich elektrisierte Körper auch abstofsen können, wurde erst von Guericke entdeckt.

[3]) Gilbert, De magnete, Buch II, Kapitel II.

14. Bacon als Verkünder der induktiven Forschungsweise. 1620.

Über die Erklärung der Natur und die Herrschaft des Menschen[1]).

Franz Bacon wurde am 22. Januar 1561 in London geboren, studierte in Cambridge und faſste schon frühzeitig den Plan, die Wissenschaften von den Auswüchsen der aristotelisch-scholastischen Philosophie zu reinigen und ihnen einen induktiven Charakter zu verleihen. Bacon hat jedoch nach dieser Richtung mehr durch das Wort als durch das eigene Beispiel gewirkt. Sein Hauptwerk, das neue Organon, erschien im Jahre 1620. Es besteht aus einer Anzahl kurzer Abschnitte, unter denen hier eine Auswahl getroffen ist. Bacon starb am 9. April 1626. Näheres über ihn siehe Bd. II d. Grdr. (1. Aufl.) S. 141 u. f.

1.

Zwei Wege zur Erforschung und Entdeckung der Wahrheit sind möglich. Auf dem einen fliegt man von den Sinnen und dem Einzelnen gleich zu den allgemeinsten Sätzen hinauf, und bildet und ermittelt aus diesen obersten Sätzen, als der unerschütterlichen Wahrheit, die mittleren Sätze. Dieser Weg ist jetzt in Gebrauch. Der zweite zieht aus dem Sinnlichen und Einzelnen Sätze, steigt stetig und allmählich in die Höhe und gelangt erst zuletzt zu dem Allgemeinsten. Dies ist der wahre aber unbetretene Weg[2]).

2.

Beide Wege beginnen mit den Sinnen und dem Einzelnen und endigen mit dem Allgemeinsten; aber sie weichen darin von einander ab, daſs auf dem einen das Einzelne und die Erfahrung nur in Eile geprüft, auf dem anderen aber regelmäſsig und ordentlich dabei verblieben wird. Ebenso werden auf dem einen gleich

---

1) Franz Bacons Neues Organon, übersetzt und erläutert von J. H. v. Kirchmann, Berlin 1870 (32. Bd. der Philosophischen Bibliothek).

2) Hier wird der Gegensatz zwischen dem deduktiven und dem induktiven Weg treffend hervorgehoben. Letzteren hatten Galilei, Gilbert und andere schon Jahrzehnte vor dem Erscheinen des neuen Organon mit groſsem Erfolge betreten; auch waren die Werke der genannten Forscher Bacon bekannt. Bacon darf also nicht etwa als der Erfinder der induktiven Methode betrachtet werden, dagegen hat er sich um deren Ausbreitung groſse Verdienste erworben

im Anfang hohle und nutzlose Allgemeinheiten aufgestellt, während der andere allmählich zu denen aufsteigt, die wirklich der Sache nach die richtigen sind.

3.

Die Idole oder falschen Begriffe, die vom dem menschlichen Geiste schon Besitz ergriffen haben und fest in ihm wurzeln, halten den Geist nicht blofs so besetzt, dafs die Wahrheit nur schwer einen Zutritt findet, sondern dafs, selbst wenn dieser Zutritt gewährt und bewilligt worden ist, sie bei der Erneuerung der Wissenschaften immer wiederkehren und belästigen, so lange man sich nicht gegen sie vorsieht und nach Möglichkeit verwahrt.

4.

Die Idole des Stammes haben ihren Grund in der menschlichen Natur, in dem Stamm oder Geschlecht der Menschen selbst. Denn es ist unrichtig, dafs der menschliche Sinn das Mafs der Dinge sei; vielmehr geschehen alle Auffassungen der Sinne und des Verstandes nach der Natur des Menschen, nicht nach der Natur des Weltalls. Der menschliche Verstand gleicht einem Spiegel mit unebener Fläche für die Strahlen der Gegenstände, welcher seine Natur mit der der letzteren vermengt, sie entstellt und verunreinigt.

5.

Die Idole der Höhle sind diejenigen des einzelnen Menschen. Denn jeder einzelne hat neben den Verirrungen der menschlichen Natur im allgemeinen eine besondere Höhle oder Grotte, welche das natürliche Licht bricht und verdirbt: teils infolge der eingentümlichen und besonderen Natur eines jeden, teils infolge der Erziehung und des Verkehrs mit anderen, teils infolge der Bücher, die er gelesen hat und der Autoritäten, die er verehrt und bewundert, und dergleichen mehr. Der menschliche Geist ist deshalb in seiner Verfassung bei dem einzelnen ein sehr veränderliches, gestörtes und gleichsam zufälliges Ding.

6.

Es giebt auch Idole, welche eine Folge der gegenseitigen Berührung und Gemeinschaft des menschlichen Geschlechts sind, und die ich wegen des Verkehrs und der Verbindung der Menschen die Idole des Marktes nenne. Denn die Menschen gesellen sich zu einander vermittelst der Rede; aber die Worte werden den Dingen nach der Auffassung der Menge beigelegt; deshalb behindert

die schlechte und thörichte Benennung den Geist in merkwürdiger Weise. Auch die Definitionen, womit die Gelehrten sich manchmal zu schützen und zu verteidigen pflegen, bessern die Sache keineswegs. Denn die Worte verleiten die Menschen zu zahllosen leeren Streitigkeiten und Erdichtungen.

7.

Das gröfste Hemmnis und der gröfste Anlafs zu Irrtümern kommt dem menschlichen Verstande von dem Staunen, der Ohnmacht und den Täuschungen der Sinne; alles was die Sinne erschüttert, wird dann über das gestellt, bei dem dies nicht unmittelbar der Fall ist, wenn auch letzteres das Mächtigere sein sollte. Deshalb hört die Betrachtung mit dem Sehen auf, und die unsichtbaren Dinge werden wenig oder gar nicht beobachtet. So ist die Natur der gewöhnlichen Luft beinahe unbekannt. Denn der Sinn für sich allein ist schwach und dem Irrtume ausgesetzt; auch helfen die Werkzeuge zur Erweiterung oder Verschärfung der Sinne nicht viel; vielmehr vollzieht sich die wahre Erklärung der Natur nur durch Einzelfälle und passende Versuche, wobei die Sinne nur über den Versuch, aber der Versuch über die Natur und den Gegenstand selbst das Urteil sprechen.

8.

Selbst in den Zeiten, wo die Wissenschaften am meisten blühten, ist auf die Naturwissenschaft der kleinste Teil der Arbeit verwendet worden, obgleich diese für die grofse Mutter aller Wissenschaften gelten mufs. Es ist bekannt, dafs nach Annahme und Aufkommen des christlichen Glaubens der gröfste Teil der ausgezeichneten Geister sich der Theologie zuwandte; für diesen Gegenstand waren die gröfsten Belohnungen ausgesetzt, und Hilfsmittel aller Art wurden auf das reichlichste dafür gewährt.

Die besseren Geister der Römerzeit wandten sich mehr den bürgerlichen Geschäften zu, da die Gröfse des römischen Reiches die Arbeit vieler Menschen erforderte. Jenes Zeitalter aber, in welchem bei den Griechen die Naturphilosophie anscheinend am meisten geblüht hat, war nur von kurzer Dauer.

9.

Es zeigt sich noch eine andere bedeutende und grofse Ursache, weshalb die Wissenschaften so wenig vorwärts gekommen sind; sie liegt darin, dafs unmöglich der Wagen richtig vorwärts gehen

kann, wenn das Ziel selbst fehlt oder nicht feststeht. Das wahre und rechte Ziel der Wissenschaften besteht aber darin, das menschliche Leben mit neuen Erfindungen und Hilfsmitteln zu bereichern. Der große Haufe bekümmert sich indes darum nicht, er arbeitet nur handwerksmäßig und auf Lohn. Nur zufällig müht sich mitunter ein Künstler von schärferem Geist und Ehrgeiz um eine neue Erfindung, aber dies geschieht meist auf Kosten seines Vermögens.

10.

Es muß mit Staunen erfüllen, daß kein Sterblicher es sich hat angelegen sein lassen, dem menschlichen Geist von den Sinnen und der Erfahrung aus einen regelmäßigen und gut beschaffenen Weg zu öffnen und zu bahnen, sondern daß man alles der Finsternis, der Überlieferung oder den Umwegen des Zufalls überlassen hat.

11.

Infolge einer alten, aber aufgeblasenen und verderblichen Meinung, daß nämlich die Majestät des menschlichen Geistes Schaden leide, wenn er sich viel und lange mit Versuchen und einzelnen sinnlichen und bestimmten Gegenständen beschäftige, ist dieses Übel wunderbar gewachsen. So ist es bereits dahin gekommen, daß der rechte Weg verschüttet und abgesperrt ist und daß die Erfahrung verabscheut wird.

12.

Die Menschen sind ferner in den wissenschaftlichen Fortschritten gehemmt, ja gleichsam durch Zauber festgehalten worden, weil sie von Ehrerbietung vor dem Altertum erfüllt waren. Die Meinung aber, welche man über das Altertum hegt, ist voll von Nachlässigkeit und entspricht nicht einmal dem Worte. Denn das Alter gebührt unserer Zeit und nicht jenem jüngeren Weltalter. Jene Zeit war nur in Rücksicht auf uns entfernt und älter, in Bezug auf die Welt aber neuer und jünger. So wie man nun in Wahrheit von einem erfahrenen Greise größere Kenntnis der menschlichen Verhältnisse und ein reiferes Urteil als von einem Jüngling erwartet, so kann man auch von unserer Zeit, wenn sie ihre Kräfte nur kennte und sie versuchen und anstrengen wollte, viel mehr als von jenen alten Zeiten erwarten; denn unsere Zeit ist für die Welt die ältere und sie ist um unzählige Versuche und Beobachtungen reicher.

13.

Es darf auch nicht übersehen werden, dafs die Naturwissenschaft zu allen Zeiten einen listigen und zähen Gegner in dem Aberglauben und in einem blinden und mafslosen Religionseifer gehabt hat. Schon bei den Griechen sieht man, wie diejenigen, welche zuerst die natürlichen Ursachen des Blitzes und der Stürme den daran nicht gewöhnten Ohren der Menschen predigten, deshalb des Unrechts gegen die Götter beschuldigt wurden. Nicht viel besser sind von einigen alten christlichen Kirchenvätern diejenigen behandelt worden, welche auf Grund der sichersten Beweise, denen heute kein vernünftiger Mensch sich entgegenstellt, die Erde für eine Kugel erklärt und deshalb Gegenfüfsler angenommen haben. Ja, wie die Sachen stehen, ist die Besprechung der Natur wegen des Verhaltens der scholastischen Theologen jetzt noch schwieriger und gefährlicher geworden. Einige befürchten in ihrer Einfalt, dafs eine tiefere Erforschung der Natur über die erlaubte Grenze hinausgehe. Andere besorgen, es möchte bei der Naturforschung etwas entdeckt werden, was die Religion namentlich bei den Ungelehrten schwächen könnte. Wer die Sache aber wohl überlegt, der sieht, dafs die Naturwissenschaft nächst dem Worte Gottes das beste Mittel gegen den Aberglauben und das erprobteste Stärkungsmittel für den Glauben ist. Die Religion offenbart den Willen Gottes, die Naturwissenschaft seine Macht.

14.

Auf den weiteren Fortschritt der Wissenschaften kann man nur dann mit Recht hoffen, wenn die Naturwissenschaft vorzugsweise solche Versuche aufnimmt und sammelt, die zwar keinen unmittelbaren Nutzen haben, aber zur Entdeckung der Ursachen und der Gesetze dienen.

Es ist aber nicht blofs die Zahl der Versuche zu vermehren, sondern es mufs durch eine neue Methode eine andere Ordnung und Regel bei der Fortsetzung und Beförderung der Erfahrung eingeführt werden. Denn eine unbestimmte, nur sich selbst überlassene Erfahrung ist ein reines Umhertappen und verwirrt nur die Menschen, anstatt sie zu belehren; wenn aber die Erfahrung nach einer festen Regel in Ordnung und Zusammenhang vorschreitet, so läfst sich Besseres für die Wissenschaften erhoffen.

15.

Manche bisherigen Erfindungen sind derart, dafs niemand vorher eine Ahnung davon gehabt, sondern dergleichen als Unmöglichkeiten verächtlich behandelt haben würde.

Hätte z. B. jemand vor der Erfindung der Feuerwaffen sie nur nach ihren Wirkungen beschrieben und gesagt, man habe eine Erfindung gemacht, durch welche die gröfsten Mauern und Wälle aus weiter Entfernung erschüttert und niedergeworfen werden könnten, so würde man über die Gewalt der vorhandenen Maschinen und Vorrichtungen mannigfach nachgedacht haben, um sie durch Gewichte und Räder oder durch Vermehrung der Stöfse und Schläge zu verstärken; aber niemand würde in seiner Phantasie auf einen feurigen Dampf der sich plötzlich und gewaltsam ausdehnt, geraten sein.

Hätte ferner jemand vor der Erfindnng des Kompasses erzählt, es sei ein Werkzeug erfunden worden, durch welches die Hauptpunkte des Himmels erkannt und unterschieden werden könnten, so würde man der Verfertigung astronomischer Instrumente nachgegangen sein.

Deshalb kann man hoffen, dafs die Natur in ihrem Busen noch vieles Vortreffliche verborgen halte, was mit dem bisher Erfundenen keine Verwandtschaft und Ähnlichkeit hat, sondern weit ab von den Wegen der Einbildungskraft liegt. Unzweifelhaft wird es im Verlaufe der Jahrhunderte zum Vorschein kommen, ebenso wie es mit dem Früheren auch geschehen ist; aber auf dem von mir gezeigten Wege wird dies schneller und entschiedener geschehen.

---

15. Pascal entdeckt die Abhängigkeit des Barometerstandes von der Höhe des Ortes. 1648.

Bericht über die von Périer am Fufse und auf dem Gipfel des Puy-de-Dôme angestellten Barometerbeobachtungen [1]).

Blaise Pascal wurde 1623 zu Clermont geboren und zeigte schon als Knabe eine hervorragende mathematische Befähigung, untergrub jedoch frühzeitig durch zu angestrengtes Studium seine Gesundheit und starb schon 1662 im Alter von 39 Jahren. Pascal brachte die Frage, ob ein Abscheu vor dem leeren Raum (Horror vacui) oder der Luftdruck das Aufsteigen der Flüssigkeiten verursache, zur Entscheidung. Er veranlafste nämlich seinen Schwager

---

1) Aus Pascals „Récit de la grande expérience de l'équilibre des liqueurs, Paris 1648" übersetzt von F. Dannemann.

Périer den Torricellischen Versuch auf dem 970 m hohen Puy-de-Dôme zu wiederholen und erstattete über das Ergebnis den berühmt gewordenen Bericht, welchem die hier mitgeteilten Briefe entnommen sind.

Brief Pascals an Périer.

15. November, 1647

Ich würde die unausgesetzte Thätigkeit, welche Ihre Geschäfte mit sich bringen, nicht unterbrechen, um Sie mit physikalischen Problemen zu unterhalten, wenn ich nicht wüfste, dafs dieselben Ihnen in Ihren Mufsestunden Erholung gewähren. Was ich Ihnen jetzt mitteile, ist nur eine Fortsetzung der Gespräche, die wir miteinander in Bezug auf das Vakuum geführt haben. Wie Sie wissen, haben alle Philosophen an dem Grundsatze festgehalten, die Natur verabscheue dasselbe. Ich habe in meiner Abhandlung über das Vakuum diese Meinung zu zerstören gesucht und glaube, dafs die Erfahrungsthatsachen, welche ich bezüglich dieser Fragen herangezogen habe, klar erkennen lassen, dafs die Natur einen beliebig grofsen, von aller Materie leeren Raum zulassen kann und in Wirklichkeit auch zuläfst. Ich bin jetzt damit beschäftigt, Thatsachen aufzusuchen, welche entscheiden lassen, ob die Wirkungen, die man dem Horror vacui zuschreibt, auf etwas derartiges zurückgeführt werden können oder durch die Schwere und den Druck der Luft veranlafst werden. Ich habe nun einen Versuch ausgedacht, der genau ausgeführt allein genügen würde, diese Frage zu entscheiden. Der Versuch würde darin bestehen, das Vakuum in der bekannten Weise[1]) mehrere Male an einem Tage in derselben Röhre und mit demselben Quecksilber hervorzurufen, das eine Mal am Fufse, das andere Mal auf dem Gipfel eines Berges von wenigstens 5—600 Toisen[2]) Höhe, um zu prüfen, ob die Höhe des in der Röhre schwebenden Quecksilbers in beiden Fällen dieselbe oder verschieden ist. Ihr erkennt zweifelsohne schon, dafs dieser Versuch die Frage entscheiden würde. Wäre nämlich die Quecksilbersäule auf dem Gipfel kürzer als am Fufse des Berges, so würde daraus notwendig folgen, dafs der Luftdruck einzig und allein das Quecksilber in der Schwebe hält und nicht ein Horror vacui. Es ist nämlich leicht ersichtlich, dafs am Fufse des Berges eine gröfsere Luftmenge einen Druck ausübt als

[1]) Das heifst durch Erzeugung der Torricellischen Leere in einer mit Quecksilber gefüllten Röhre.

[2]) Die Toise oder der französische Klafter = 6 franz. Fufs = 1,949 m.

auf dem Gipfel, während kein Grund zu der Annahme vorliegt, dafs die Natur in der unteren Region einen gröfseren Abscheu vor der Leere empfinden sollte als in der oberen.

Die Ausführung dieses Versuches ist nun mit mancherlei Schwierigkeiten verknüpft. Man müfste zu diesem Zwecke einen hinreichend hohen Berg wählen, der sich in der Nähe einer Stadt befände. Dort müfste dann ferner jemand imstande sein, die erforderliche Sorgfalt auf diesen Versuch zu verwenden. Da es nun selten sich treffen wird, einmal aufserhalb Paris jemanden zu finden, der sich hierzu eignet, des ferneren einen Ort, für welchen die Bedingungen zutreffen, so schätze ich mich glücklich, in meinem Falle sowohl die Person als den Ort gefunden zu haben, da unser Clermont am Fufse des 974 m hohen Puy-de-Dôme liegt und da ich ferner hoffe, dafs Ihr die Güte haben werdet, diesen Versuch selbst anzustellen.

Euer sehr gehorsamer Diener

Pascal.

Brief Périers an Pascal.

22. September 1648.

Endlich habe ich den Versuch angestellt, den Ihr so lange gewünscht habt. Ich erstatte Euch nachstehend einen ausführlichen und genauen Bericht.

Der letzte Samstag, der 19. d. Mts., war sehr unbeständig. Da jedoch das Wetter um fünf Uhr morgens schön zu werden versprach und der Gipfel des Puy-de-Dôme sich blicken liefs, entschlofs ich mich zur Besteigung, um den Versuch dort anzustellen. Ich benachrichtigte daher mehrere angesehene Personen Clermonts, welche mich gebeten hatten, ihnen den Tag, an dem ich mein Vorhaben ausführen würde, anzuzeigen.

Zuerst gofs ich in ein Gefäfs 16 Pfund Quecksilber; darauf nahm ich zwei Glasröhren von gleicher Dicke und vier Fufs Länge, die an einem Ende luftdicht verschlossen, am anderen offen waren. Mit jeder derselben stellte ich in bekannter Weise das Vakuum her und zwar in demselben Gefäfs. Nachdem ich dann die beiden Röhren einander genähert hatte, ohne sie aus dem Gefäfs herauszunehmen, zeigte es sich, dafs das Quecksilber, welches in jeder geblieben war, sich im gleichen Niveau befand und die Höhe der Quecksilbersäulen von der Oberfläche des in dem Gefäfs

befindlichen Quecksilbers gemessen 26 Zoll $3^1/_2$ Linien betrug. Ich wiederholte dieses Experiment an demselben Orte mit eben denselben Röhren, demselben Quecksilber und dem gleichen Gefäſs noch zweimal. Immer zeigte es sich, daſs das Quecksilber beider Röhren dasselbe Niveau innehielt, und daſs die Höhe die gleiche war wie das erste Mal.

Darauf lieſs ich die eine Röhre in ihrem Gefäſse ohne den Versuch zu unterbrechen; ich merkte die Höhe der Quecksilbersäule auf dem Glase an und bat jemanden, sorgfältig und unausgesetzt während des ganzen Tages darauf zu achten, ob eine Änderung einträte. Mit der anderen Röhre und einem Teile desselben Quecksilbers begab ich mich in Begleitung mehrerer Personen auf den Gipfel des Puy-de-Dôme und stellte dort, 500 Toisen oberhalb des ersten Ortes, in der gleichen Art denselben Versuch an, den ich vorher gemacht hatte. Es zeigte sich, daſs die Höhe der Quecksilbersäule in dieser Röhre nur 23 Zoll 2 Linien betrug, während sie in Clermont in derselben Röhre 26 Zoll $3^1/_2$ Linien betragen hatte, sodaſs der Unterschied in der Höhe der Quecksilbersäulen bei diesen beiden Versuchen sich auf 3 Zoll $1^1/_2$ Linien belief. Dies erfüllte uns alle mit Bewunderung und Erstaunen und überraschte uns dermaſsen, daſs wir, um uns von der Richtigkeit zu überzeugen, den Versuch noch fünfmal sehr sorgfältig an verschiedenen Stellen des Gipfels wiederholten, sowohl unter Dach in einer kleinen Kapelle, die sich dort befindet, als unter freiem Himmel, an geschützter Stelle sowie im Winde, während klares Wetter herrschte und bei einem Regenschauer. Immer zeigte sich bei all diesen Versuchen, daſs die Quecksilbersäule eine Höhe von 23 Zoll 2 Linien innehielt.

Später stellte ich beim Abstieg denselben Versuch mit den gleichen Apparaten an, und zwar an einem Orte 150 Toisen oberhalb Clermonts. Dort fand ich, daſs die Höhe der Quecksilbersäule 25 Zoll betrug. Dies verschaffte uns keine geringe Genugthuung, da wir sahen, daſs die Höhe der Quecksilbersäule sich entsprechend der Höhe des Ortes verminderte.

Endlich nach Clermont zurückgekehrt, fand ich daselbst an dem Apparat, den ich dort unverändert zurückgelassen, denselben Stand der Quecksilbersäule wie bei meinem Aufbruch, nämlich 26 Zoll $3^1/_2$ Linien. Die Person, welche zur Beobachtung zurückgeblieben war, berichtete uns, daſs während des ganzen Tages darin keine Änderung eingetreten sei, obgleich das Wetter sehr unbeständig gewesen wäre.

Ich wiederholte darauf den Versuch mit der Röhre, die ich auf dem Puy-de-Dôme benutzt hatte, und zwar in dem Gefäſse, in welchem sich die erste Röhre noch befand. Es zeigte sich, daſs das Quecksilber in beiden Röhren das gleiche Niveau innehielt und zwar eine Höhe von 26 Zoll $3^1/_2$ Linien, wie am Morgen in derselben Röhre und während des ganzen Tages in derjenigen Röhre die in unveränderter Stellung geblieben war.

Am folgenden Tage wurde mir von einer Seite der Vorschlag gemacht, denselben Versuch am Fuſse und auf der Spitze des höchsten Turmes Clermonts zu wiederholen und zu erproben, ob in diesem Falle ein Unterschied bemerkbar sei. Um der Wiſsbegierde zu genügen, stellte ich noch am selben Tage das Experiment in einem Hause an, das sich am Fuſse des Turmes befand. Wir fanden dort die Höhe der Quecksilbersäule gleich 26 Zoll 3 Linien. Darauf wiederholte ich den Versuch auf der Spitze des Turmes 20 Toisen über seinem Fuſse. Dort betrug die Höhe des Quecksilbers 26 Zoll 1 Linie, war also um 2 Linien geringer.

Euer sehr geneigter Diener

Périer.

---

16. Die Erfindung der Luftpumpe.

Otto von Guerickes neue „Magdeburgische" Versuche über den leeren Raum[1].

(Auszug aus Kapitel II, III und IV.)

Otto von Guericke wurde am 20. November 1602 in Magdeburg geboren, studierte in Leipzig, Jena und Leyden und wurde 1646 Bürgermeister seiner Vaterstadt, bei deren Zerstörung durch Tilly im Jahre 1631 er nur das nackte Leben zu retten vermochte. 1654 zeigte Guericke auf dem Reichstage zu Regensburg die von ihm erfundene Luftpumpe, welche später durch den Engländer Boyle verbessert wurde, sowie den berühmt gewordenen Versuch mit den Magdeburger Halbkugeln. 1681 siedelte er nach Hamburg über, woselbst er am 11. Mai 1686 starb. Näheres über Guericke siehe Bd. II d. Grdr. (1. Aufl.) S. 175 u. f.

[1]) Aus dem Lateinischen übersetzt und mit Anmerkungen herausgegeben von Friedrich Dannemann. Leipzig, Verlag von Wilhelm Engelmann 1894 (59. Bd. von Ostwalds Klassikern der exakten Wissenschaften).

Als ich Betrachtungen über die Unermeſslichkeit des Raumes anstellte und darüber, daſs derselbe durchaus überall vorhanden sein müsse, dachte ich mir folgenden Versuch aus:

Ein Wein- oder Bierfaſs werde mit Wasser gefüllt und von allen Seiten wohl verstopft, sodaſs die äuſsere Luft nicht eindringen kann. Am unteren Teile des Fasses werde eine Röhre von Metall angebracht, mit deren Hülfe man das Wasser herausziehen kann; das Wasser muſs dann vermöge seiner Schwere herabsinken und wird über sich im Fasse einen von Luft (und infolgedessen von jedem Körper) leeren Raum zurücklassen.

Damit nun der Erfolg dieser Überlegung entspräche, richtete ich mir eine Messingspritze her, wie man sie bei Bränden benutzt, mit Stempel und Kolben, der genau gearbeitet war (sodaſs die Luft keinen Platz fand, zu den Seiten desselben ein- oder auszutreten). An der Spritze wurden ferner zwei Ventile aus Leder angebracht, von welchen das innere im Deckel der Spritze den Eintritt des Wassers, das äuſsere den Abfluſs vermitteln sollte. Nach Befestigung der Spritze (vermittelst eines eisernen mit vier Bändern versehenen Ringes) am unteren Teile des Fasses versuchte ich das Wasser herauszuziehen. Zuerst rissen aber die Bänder und die eisernen Schrauben, vermittelst deren die Spritze an dem Fasse befestigt war, eher als daſs das Wasser dem Kolben gefolgt wäre.

Das Bemühen war aber keineswegs aussichtslos. Nachdem Abhilfe durch Anbringen stärkerer Schrauben getroffen war, vermochten endlich drei starke Männer, welche an dem Stempel der Spritze zogen, das nachfolgende Wasser durch das obere Ventil herauszuschaffen. Dabei wurde aber in allen Teilen des Fasses ein Geräusch gehört, als wenn das Wasser heftig koche, und dies dauerte so lange, bis das Faſs an Stelle des herausgezogenen Wassers mit Luft gefüllt war.

Diesem Übelstande muſste daher durch irgend ein Mittel abgeholfen werden. Es wurde deshalb ein kleineres Faſs beschafft und innerhalb des gröſseren angebracht. Nachdem dann das Rohr einer längeren Spritze durch die Bohlen der beiden Fässer geführt war, lieſs ich jenes kleinere Faſs mit Wasser füllen, die Öffnung desselben dichten und nachdem auch das gröſsere Faſs mit Wasser gefüllt war, die Arbeit von neuem beginnen. Jetzt gelang es, aus dem kleineren Fasse das Wasser herauszuschaffen, an dessen Stelle ohne Zweifel ein leerer Raum zurückblieb.

Als aber nach Ablauf des Tages mit der Arbeit aufgehört wurde und alles ringsum ruhig geworden war, vernahm man einen

wechselnden, von Zeit zu Zeit unterbrochenen Ton, ähnlich dem eines leise zwitschernden Singvogels. Dies dauerte fast drei volle Tage.

Als darauf die Mündung des kleineren Fasses geöffnet wurde, fand man dasselbe zum grofsen Teil mit Luft und Wasser gefüllt. Es war aber nichtsdestoweniger ein Teil leer, da während des Öffnens etwas Luft eindrang.

Alle waren von Erstaunen darüber ergriffen, dafs das Wasser in ein Fafs gelangte, welches so sorgfältig an allen Stellen verpicht und verstopft war. Ich ersah endlich aus mehrfach wiederholten Versuchen, dafs das unter starkem Drucke befindliche Wasser durch das Holz hindurchging und wegen der Pressung und der beim Passieren des Holzes erzeugten Reibung immer aus dem Wasser gleichzeitig etwas Luft in dem Fasse sich entwickelte. Mit dem Aufhören des Druckes hatte daher auch das Eindringen von Wasser und Luft ein Ende. Daher erhielt man ein gleichsam nur zur Hälfte evakuiertes Fafs.

Nachdem die Porosität des Holzes sowohl durch den Augenschein als durch den Versuch erwiesen war, schien mir für mein Vorhaben eine kupferne Kugel geeigneter zu sein. Dieselbe fafste 60 bis 70 Magdeburger Mafs und wurde oben mit einem Messinghahn versehen, unten dagegen an der Spritze angebracht und mit derselben wohl verbunden. Darauf unternahm ich es, wie vorher Wasser und ebenso Luft herauszuziehen.

Anfangs liefs sich der Stempel leicht bewegen, bald wurde dies aber immer schwieriger, sodafs zwei kräftige Männer kaum imstande waren, den Stempel herauszuziehen. Während sie noch mit dem Ein- und Ausziehen desselben beschäftigt waren und schon glaubten, es sei nahezu alle Luft herausgeschafft, wurde die Metallkugel plötzlich mit lautem Knall und zu aller Schrecken so zerdrückt, wie man ein Tuch zwischen den Fingern zusammenballt, oder als ob die Kugel von der äufsersten Spitze eines [illegible] mit heftigem Aufprall herabgeworfen worden wäre.

[illegible] die Ursache dieses Vorfalles einer Unachtsamkeit [illegible]rkers zu, der die Kugel vielleicht nicht genau zirkelrund [illegible] hatte. Die flache Stelle, wo sie sich nun auch befunden [illegible] konnte den Druck der umgebenden Luft nicht aushalten, [illegible] dagegen eine genau gearbeitete Kugel der Überein- [illegible] der Teile halber, welche sich gegenseitig beim Widerstand- [illegible], leicht vermocht hätte. Es war also durchaus [illegible] Metallarbeiter eine vollkommen runde Kugel her-

stellte, aus der die Luft ebenfalls im Beginne leicht, gegen das Ende mit Mühe herausgepumpt wurde.

Als Beweis aber, dafs die Kugel vollständig evakuiert sei, diente der Umstand, dafs ein Entweichen von Luft aus dem oberen Ventil der Spritze endlich nicht mehr stattfand.

So wurde also zum zweiten Male ein leerer Raum erhalten.

Nach dem Öffnen des Hahnes drang die Luft mit solcher Kraft in die kupferne Kugel, als wollte dieselbe einen davorstehenden Menschen gleichsam an sich reifsen. Brachte man das Gesicht in ziemliche Entfernung, so wurde einem der Atem benommen, ja man konnte die Hand nicht über den Hahn halten, ohne dafs sie mit Heftigkeit herangezogen wurde.

Da die Luft als ein aufserordentlich feiner Körper alle Öffnungen und Zwischenräume, so klein sie auch sein mögen, unglaublich schnell durchdringt und ausfüllt, und immer etwas Luft zu den Seiten des Kolbens sowohl als der Ventile unvermerkt eindringt; da es ferner nicht möglich ist, Stempel und Ventil so vollkommen herzustellen, dafs sie jedem Eindringen der Luft widerstehen, baute ich mehrere Apparate, bei denen die Pumpe sowohl unten als oben mit Wasser umgeben werden konnte[1]).

Da aber diese Maschinen schwer zu transportieren waren und mein allergnädigster Herr, der Kurfürst von Brandenburg, meine Versuche zu sehen wünschte, so habe ich den nachstehend beschriebenen Apparat hergerichtet.

1. Man lasse einen eisernen Dreifufs a b c d f (Fig. 10) von etwa 2 Ellen Höhe schmieden, dessen Füfse oben an einem eisernen Ringe b c, unten aber an dem Pflaster vermittelst der eisernen Schrauben a f d zu befestigen sind.

2. Als Luftpumpe g h (Fig. 10, III) benutze man eine Messingspritze, wie sie im 2. Kapitel beschrieben wurde, und zwar sei dieselbe oben von einem Bleiringe y umgeben.

3. An diesem oberen Teile y werde ein Messingdeckel m n (Fig. 10, IV), versehen mit einer Röhre n, in welche die leer zu

[1]) Der Jesuit Kaspar Schott beschrieb diese Apparate zuerst, und zwar in seiner „Ars Hydraulico-pneumatica“ und darauf im ersten Buche seiner „Technica curiosa“, welches „von den Magdeburgischen Wunderdingen“ betitelt ist. Schott (1608—1666) war Professor der Mathematik in Würzburg, woselbst er im Auftrage des Kurfürsten von Mainz mit den von Guericke zur Verfügung gestellten Apparaten die „Magdeburgischen Versuche“ wiederholte.

pumpenden Gefäſse mit ihren Hähnen hineingesteckt werden können, vermittelst dreier Schrauben befestigt. Vorher aber werde ein lederner Ring dazwischen gelegt.



Fig. 10. Guerickes Luftpumpe.

(Wiedergabe der 6. Tafel der „Magdeburgischen" Versuche.)

4. Dieser Deckel sei auf seiner inneren und unteren Seite in der Mitte mit einem Lederventil versehen, wie es in Abbildung V, Fig. 10 dargestellt wurde, sodaſs der Kolben h mit seinem Stempel f beim Herabdrücken die Luft oder das Wasser aus den zu entleerenden Gefäſsen in die Pumpe g h ziehen und

beim Emporheben durch das äufsere Ventil z (Fig. 10, IV) herausbefördern kann.

5. An dem aus Blei hergestellten Rande der Luftpumpe werde ein kupfernes Gefäfs x x zum Eingiefsen von Wasser angebracht.

6. Die Pumpe y g h (Fig. 10, III) wird zugleich mit diesem daran angebrachten Gefäfse in den Dreifufs gesetzt, indem man sie durch die Öffnung e des erwähnten eisernen Ringes b c (Fig. 10, II) steckt und sie dann an jenem aus Blei hergestellten Rande mit drei eisernen Schrauben befestigt.

7. Damit sich nun die Pumpe an ihrem unteren Ende nicht bewege, wird auch dort ein eiserner Ring k k (Fig. 10, I) befestigt, an dem sich drei Arme o o o befinden, welche den Dreifufs zusammenhalten.

8. An einem Fufse des Gestells wird in w ein eiserner Hebel w u u angebracht, der um den Stift w gehoben und gesenkt werden kann.

9. Mit dem Hebel endlich wird eine eiserne Stange u t verbunden, welche in t mit dem erwähnten hölzernen Stempel f h in Verbindung steht. Letzterer wird mit dem massiven Kolben h versehen, sodafs mit Hilfe dieser Einrichtungen die Pumpe in Bewegung gesetzt werden kann.

10. Damit von unten und zu den Seiten des Kolbens h keine Spur Luft in die Pumpe eindringe, werde ein längliches kupfernes Gefäfs, eine Art Kessel (Fig. 10, VI) hergestellt, welches mit seinen drei Hacken an jenen drei Armen o o o aufgehängt und mit Wasser gefüllt wird. Auf diese Weise läfst sich die untere Öffnung der Luftpumpe, sowie der Stempel und alles Zubehör mittelst Wasser dicht halten.

11. Jedes Herausziehen der Luft geschieht aber vermöge der Expansiv- oder elastischen Kraft derselben, sodafs infolge der Bewegung der Pumpe die Luft immer aus dem leer zu machenden Gefäfse in die leere Pumpe tritt, aus der sie dann nach und nach herausgeschafft wird. Schliefslich wird aber jene geringe Menge Luft, welche in dem zu entleerenden Gefäfse bleibt, keine hinreichende Elasticität mehr besitzen, um das Leder der Ventile (welche meist mit Federn aus Metall versehen sind, damit sie stets gut schliefsen) zu öffnen. Aus diesem Grunde kann man im Deckel z m n der Pumpe zwischen dem Ventil z und dem Rohr n ein Röhrchen anbringen, das mit Stempel und Kolben, sowie mit einer Hervorragung versehen ist, und mit dessen Hülfe das innere Ventil kunstvoll geöffnet und geschlossen werden kann. Infolgedessen

kann jene Spur Luft, von der man annimmt, dafs sie sonst zurückbleibt, zuletzt ohne Schwierigkeit in die Pumpe hinabgelangen.

Aus der Beschreibung dieser Maschine geht deutlich hervor, dafs mit Hilfe derselben ein Vakuum geschaffen und jene Schwierigkeit, die sonst für unüberwindlich galt, gelöst werden kann. Wenn nämlich der Hebel w u u gehoben wird, so berührt der Kolben h den Deckel m n, und die Pumpe ist von ihrem Stempel ausgefüllt; wird derselbe nun herabgedrückt, so entsteht im Innern der Pumpe ein leerer Raum. In diesem verbreitet sich die Luft des angewandten Gefäfses, wodurch dasselbe schliefslich luftleer gemacht wird.

Versuche, welche den Druck der Atmosphäre darthun[1]).

Als Guericke eines Tages den entleerten Recipienten auf dem Tische stehen hatte und in denselben mittelst einer Röhre Wasser aus einem Kübel steigen liefs, der am Boden des Zimmers stand, kam er auf den Gedanken, wie weit dabei wohl der Recipient von der Erde entfernt sein könne. Er berichtet darüber folgendermafsen:

Da mir dies noch unbekannt war, ich aber doch nicht annehmen konnte, dafs das Gefäfs bis zu beliebiger Höhe das Wasser emporziehe, versäumte ich nicht, darüber Untersuchungen anzustellen. Ich liefs die Röhre verlängern, sodafs sie aus dem mittleren Stockwerk durch das Fenster geführt, den Boden des Hofes berührte. Nachdem dann ein Gefäfs voll Wasser darunter gesetzt war, verfuhr ich wie vorher. Ich sah dieselbe Erscheinung eintreten. Das Wasser stieg nämlich seiner Schwere entgegen nichtsdestoweniger in das entleerte Gefäfs empor.

Daraus ergab sich die Notwendigkeit, nicht nur den Apparat in das dritte Stockwerk zu bringen, sondern auch eine längere Röhre anzuwenden. Als dies geschehen war, ging die Sache nichtsdestoweniger in derselben Weise vor sich. Das Wasser stieg bis zum dritten Stock. Ich begab mich deshalb in den vierten Stock des Hauses, und nachdem alle Vorbereitungen getroffen waren, wiederholte ich den früheren Versuch. Jetzt nahm ich

---

1) Otto von Guerickes neue „Magdeburgische“ Versuche. Kapitel XIX, XX, XXIII, XXVIII (gekürzt und mit verbindendem Text).

vahr, daſs kein Wasser mehr in das Gefäſs gelangte, sondern laſs es vielmehr in der Röhre hängen blieb.



Fig. 11. Guerickes Wasserbarometer.
(Wiedergabe der 10. Tafel der „Magdeburgischen Versuche.")

Figur 11, welche eine Wiedergabe der X. Tafel des Guerickeschen Werkes ist, enthält auf der rechten Seite die Darstellung dieses Versuches. nm ist der Kübel, i der Recipient, bg die aus

vier Stücken zusammengesetzte Röhre. Jedes Stück besafs am oberen Ende eine napfförmige Erweiterung, in welche nach dem Zusammenfügen zum besseren Abdichten Wasser gegossen wurde.

Weil aber so die Steighöhe nicht ermittelt werden konnte, war es nötig, an der Stelle, wo sich das in der Schwebe befindliche Wasser vermuten liefs, eine Glasröhre vermittelst Kitt gut schliefsend einzuschalten und den Versuch zum vierten Male anzustellen. Als darauf der Hahn gedreht wurde, sah ich das Wasser ohne Verzug eindringen, einige Male in der Glasröhre auf- und niederschwanken, endlich aber zur Ruhe kommen. Jetzt liefs sich die Stelle, bis zu welcher das Wasser vorher gestiegen war, feststellen. Ich merkte mir dieselbe an und liefs von hier ein Senkblei bis zum Boden des Hofes hinab, dessen Länge ich mafs und ungefähr gleich 19 Magdeburger Ellen fand.

Obschon ich nicht unterliefs, diesen Versuch noch verschiedene Male in derselben Weise zu wiederholen und nachzumessen, sah ich dennoch das Wasser immer dieselbe Höhe innehalten. Als aber dieser Versuch einige Tage unterbrochen wurde, nahm ich auch von einem zum andern Tage eine gewisse Veränderung wahr. Mitunter nämlich stand das Wasser eine, zwei oder drei Handbreit höher, bisweilen um so viel tiefer.

Aus dieser Erscheinung, die sich mir unerwartet darbot, konnte ich nichts anderes schliefsen, als dafs der sogenannte Abscheu vor dem leeren Raum in dem Druck der atmosphärischen Luft bestehe, welche das Wasser, wo sich ein leerer Raum bietet, dazu drängt, in diesen hineinzutreten und ihn einzunehmen, und zwar bis zu einer Höhe, welche diesem Drucke entspricht.

Wenn nämlich das Emporsteigen infolge des Abscheus vor dem leeren Raum geschähe, so müfste das Wasser entweder bis zu beliebiger Höhe unbegrenzt dem Vakuum folgen oder immer in ein und derselben Höhe stehen bleiben. Dafs aber die Höhe sich ändert, ist das sicherste Anzeichen dafür, dafs nicht nur das Emporsteigen des Wassers, sondern auch die Schwankungen desselben von einer äufseren Ursache herrühren.

Die Höhe des Wassers in der Röhre hängt daher nicht von dem Abscheu der Natur vor dem leeren Raume, sondern von dem Gleichgewicht zwischen der Wassersäule und dem Luftdruck ab.

Fortgesetzte Beobachtungen an diesem Apparat führten Guericke dazu, einen Zusammenhang zwischen den Schwankungen der Wassersäule und dem Wetter zu entdecken. Um erstere besser verfolgen zu können, hatte er eine aus Holz geschnitzte Figur in

der Flüssigkeit angebracht, welche mit derselben auf und niederstieg und dabei auf eine an der Röhre angebrachte Skala wies (Fig. 10, IV).

Über eine Wettervorhersage berichtet Guericke mit folgenden Worten:

Ich habe mit Bestimmtheit, als im vergangenen Jahre jener ungeheure Sturm stattfand, auf Grund des soeben erwähnten Versuches eine besondere, aufserordentliche Veränderung der Luft wahrgenommen. Dieselbe war so leicht im Vergleich zu sonst geworden, dafs der Finger des Männchens sogar unter den äufsersten an der Glasröhre angebrachten Punkt herabstieg. Als ich dies sah, teilte ich den Umstehenden mit, es sei ohne Zweifel irgendwo ein grofses Unwetter ausgebrochen, und kaum waren zwei Stunden verflossen, als jener Orkan auch in unsere Gegend einbrach, wenn er auch nicht so heftig auftrat als auf dem Meere.

Auf Grund der von ihm entdeckten Thatsache, dafs eine Luftsäule denselben Druck ausübt wie eine 19 Magdeburger Ellen (10 m) hohe Wassersäule von gleicher Grundfläche, zeigt Guericke[1], *wie man durch Rechnung den Druck jedes beliebigen Luftcylinders ermitteln kann. Als Beispiel wählt er den Fall, dafs der Durchmesser des Cylinders ²/₃ Ellen beträgt und findet dafür 2687 Pfund. Um diesen aufserordentlichen Druck seinen Zeitgenossen in recht augenfälliger Weise zu zeigen, stellt er folgenden Versuch an:*

Ich liefs zwei Halbkugeln aus Kupfer von ungefähr $^2/_3$ Magdeburger Ellen Durchmesser herrichten. Dieselben pafsten gut aufeinander, und zwar war die eine mit einem Ventil versehen, mit dessen Hülfe die im Innern befindliche Luft herausgezogen werden konnte. Die Schalen waren aufserdem mit eisernen Ringen versehen, damit Pferde daran gespannt werden konnten. Ferner liefs ich einen Ring aus Leder zusammennähen, der gut mit Wachs (gemischt mit Terpentinöl) durchtränkt wurde, sodafs er keine Luft durchliefs.

Diese Schalen habe ich, nachdem jener Ring dazwischen gebracht war, aufeinander gelegt und darauf die Luft schnell herausgepumpt. Ich sah, mit welcher Kraft die beiden Schalen, zwischen denen sich jener Ring befand, vereinigt wurden. Von dem Druck der äufseren Luft zusammengeprefst, waren sie so fest verbunden, dafs sechzehn Pferde sie nicht oder oder nur mit Mühe voneinander

---

1) Magdeburgische Versuche, Kapitel XXII. Siehe 59. Bd. von Ostwalds Klassikern der exakten Wissenschaften, S. 66.

reifsen konnten. Gelang es aber endlich mit Aufbietung aller Kraft sie zu trennen, so verursachte dies ein Geräusch wie ein Büchsenschufs.

Sobald aber durch Öffnen des Hahnes der Luft Zutritt gegeben wurde, konnten sie schon mit den Händen getrennt oder voneinander gerissen werden.

Über die Ursache des Luftdruckes äufsert sich Guericke mit folgenden Worten:

Einige glauben, er rühre von dem Triebe gegen das Centrum her (wohin, wie sie meinen, alles strebe). Andere dagegen verlegen die Ursache in die von allen Seiten kommenden und einen Druck auzübenden Strahlen der Sterne.

Weshalb aber soll man den einzelnen Dingen den Trieb nach dem Centrum zu streben, beilegen und nicht vielmehr der Erde eine anziehende Kraft? Ferner kann die Kraft, welche die Luft zusammendrückt, keineswegs von den oberen Regionen ausgehen. Rührte sie nämlich von den Sternen her, so müfste auch die Erdkugel, als ein im Wege stehender Körper, diesen Druck empfangen und ihm Widerstand leisten.

Wenn aber zwei Körper gegeneinander drücken, so wird ein zwischen ihnen befindlicher Gegenstand von beiden Seiten denselben Druck erleiden. Daraus würde notwendig folgen, dafs die unteren Teile der Luft in gleichem Mafse gedrückt werden wie die oberen, was aber durch die Versuche widerlegt wird.

Da nun die untere Luft stärker zusammengedrückt ist als die obere, und man dies nicht nur auf hohen Bergen, sondern schon auf den Türmen der Kirchen wahrnimmt[1]), so folgt daraus, dafs die Luft sich nicht weit von der Oberfläche der Erde erstreckt, sondern im Hinblick auf die grofse Entfernung der Sterne ihre Höhe nur gering sein kann.

---

[1]) Pascal hatte dies aus der Verkürzung der Quecksilbersäule des Barometers gefolgert (Siehe Abschnitt 15 d. Bds.), Guericke verschlofs einen Recipienten am Fufse eines Kirchturms und begab sich damit auf die Spitze desselben. Wurde der Hahn jetzt gedreht, so trat Luft aus; während Luft in den Recipienten hineindrang, wenn man ihn auf der Spitze des Turmes verschlofs und am Fufse wieder öffnete. Guerike, De vacuo spatio, III. Buch, 30. Kap.

17. Newton erforscht die Natur des Sonnenlichtes. 1670.

Abschnitte aus Newtons Optik [1]).

Isaac Newton wurde am 5. Januar 1643 in Woolsthorpe geboren und bezog im 18. Lebensjahre die Universität Cambridge, an welcher er 1669 Professor der Mathematik wurde. Newton hat durch einzigartige Untersuchungen auf den Gebieten der Physik, Astronomie und Mathematik seinen Namen unsterblich gemacht. Seit 1666 beschäftigte er sich mit Forschungen über die Natur des Lichtes, deren Ergebnisse in der 1704 erschienenen „Optik“ zusammenhängend dargestellt wurden. Nachstehend sind einige hervorragend wichtige experimentelle Abschnitte derselben in der Übersetzung wiedergegeben. Newtons Theorie vom Lichte, die sogenannte Emanationstheorie, erwies sich gegenüber der Wellentheorie von Huygens (Siehe 19) als unhaltbar, wennschon die letztere im 18. Jahrhundert nur vereinzelte Verfechter fand (Siehe 31) und erst im Beginn des 19. Jahrhunderts zur vollen Anerkennung gelangte. 1668 verfertigte Newton sein Spiegelteleskop; 1682 entdeckte er das Gravitationsgesetz; 1686 erschien sein Hauptwerk, die „Prinzipien der Naturwissenschaft“. Fast gleichzeitig mit Leibniz erfand Newton ferner die Differential- und Integralrechnung. Er starb am 20. März 1727 und wurde unter grofsen Ehrenbezeugungen in der Westminsterabtei beigesetzt. Näheres über Newton siehe Bd. II d. Grdr. (1. Aufl.) S. 185 u. f.

A. Das Sonnenlicht besteht aus Strahlen verschiedener Brechbarkeit.

In einem sehr dunklen Zimmer brachte ich hinter einer runden in dem Fensterladen befindlichen Öffnung von $^1/_3$ Zoll Durchmesser ein Glasprisma an. Letzteres sollte den Lichtstrahl, der durch die Öffnung eindrang, ablenken, ihn aufwärts nach der gegenüberliegenden Wand des Zimmers werfen und dort ein farbiges Bild der Sonne erzeugen. Die Axe des Prismas, das heifst die durch die Mitte des Prismas von einem Ende zum anderen parallel der

[1]) Nach Opticks or a treatise of the reflections, refractions and colours of light by Sir Isaac Newton, Third Edition, London 1721, First book, Part. I, Prop. II, Theor. II, übersetzt von Friedrich Dannemann.

brechenden Kante verlaufende Linie, befand sich in diesem und den folgenden Versuchen in senkrechter Stellung zu den einfallenden Lichtstrahlen. Um diese Axe drehte ich das Prisma langsam und sah dabei das farbige Sonnenbild zuerst hinab- und dann wieder hinaufsteigen. Zwischen der Ab- und Aufwärtsbewegung, in dem Augenblicke, wo das Bild stille zu stehen schien, stellte ich das Prisma fest[1]). Nun liefs ich das gebrochene Licht senkrecht auf einen Bogen weifses Papier fallen, der auf der gegenüberliegenden Wand des Zimmers angebracht war, und beobachtete Gestalt und Gröfse des dort entstehenden Sonnenbildes. Dasselbe war langgezogen und von 2 geraden parallelen Linien begrenzt; die Enden waren halbkreisförmig. Seitlich war es recht scharf begrenzt, an den Enden jedoch verschwommen und undeutlich, indem das Licht dort allmählich bis zum gänzlichen Verschwinden abnahm.

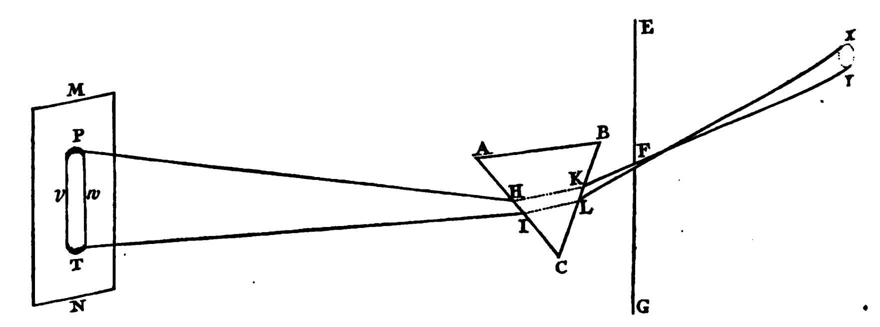


Fig. 12. Die Entstehung des Spektrums.
(Newtons Optik, I, Taf. III, Fig. 13).

EG sei der Fensterladen, F die darin angebrachte Öffnung, durch welche ein Lichtstrahl in das verdunkelte Zimmer eintritt. ABC sei das Prisma, dessen eines Ende gerade dem Auge des Beschauers zugekehrt ist. XY möge die Sonne vorstellen, MN das Papier, auf welches das Sonnenbild oder Spektrum geworfen wird, PT dieses Bild selbst, deren Seiten v und w parallele Grade und dessen Enden halbkreisförmig sind. YKHP und XLIT sind zwei Strahlen, von denen der erstere vom unteren Rande der Sonne zum oberen Teil des Bildes geht und innerhalb des Prismas bei K und H gebrochen wird. Der zweite dagegen geht vom oberen Sonnenrande zum unteren Teile des Bildes und wird in L und I

[1]) Es war dies also die Stellung, in welcher das Minimum der Ablenkung stattfand.

gebrochen. Wären die beiden Strahlen XLIT und YKHP, sowie alle übrigen, welche das Spektrum Pw Tv bilden, in gleichem Maſse brechbar, so würde dasselbe rund sein. Da nun der Versuch zeigt, daſs das Sonnenbild nicht rund, sondern etwa 5 mal so lang als breit ist, so müssen die Lichtstrahlen, welche zum oberen Teile P gelangen, also am stärksten abgelenkt werden, in höherem Grade brechbar sein als diejenigen, die zum unteren Ende T gehen.

Das Spektrum PT war farbig, und zwar rot in seinem am wenigsten gebrochenen Ende T, violett dagegen in dem am stärksten abgelenkten Ende P. Der dazwischen befindliche Raum war gelb, grün und blau. Dies entspricht auch einem früher von mir nachgewiesenen Gesetz, daſs nämlich Lichtstrahlen von verschiedener Farbe in verschiedenem Grade brechbar sind.

In der Mitte zweier dünner Bretter, de und DE, siehe Fig. 13, machte ich nun je eine runde Öffnung von $^1/_3$ Zoll Durchmesser und in dem Fensterladen eine weit gröſsere Öffnung bei F, durch

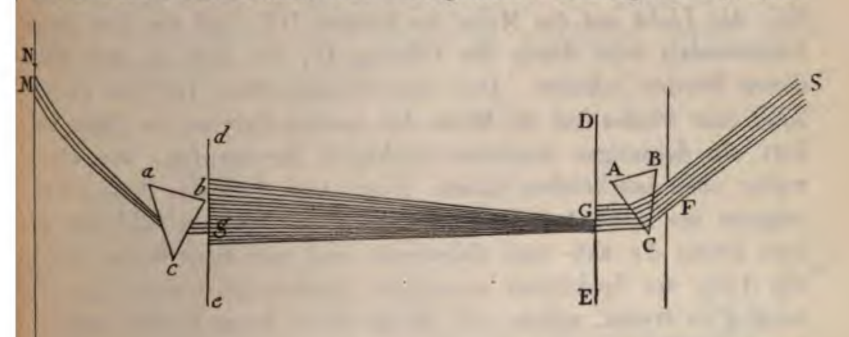


Fig. 13. Nachweis daſs die Teile des Spektrums verschieden brechbar sind. (Newtons Optik, I, Taf. IV, Fig. 18.)

welche in mein verdunkeltes Zimmer ein voller Strahl des Sonnenlichts eindrang. Hinter dem Laden brachte ich in den Weg dieses Lichtstrahls ein Prisma ABC, das den Strahl nach der gegenüberliegenden Wand hin brechen sollte. Dicht hinter dem Prisma ABC aber befestigte ich das eine Brett DE dergestalt, daſs nur ein Teil des gebrochenen Lichtes durch die in dem Brette angebrachte Öffnung hindurchgehen konnte, während der Rest aufgefangen wurde. Zwölf Fuſs von diesem ersten Brette entfernt befestigte ich darauf das zweite Brett de so, daſs wieder nur ein Teil des gebrochenen Lichtes, welches durch die erste Öffnung gelangt war, das Loch in jenem zweiten Brette passieren konnte, während

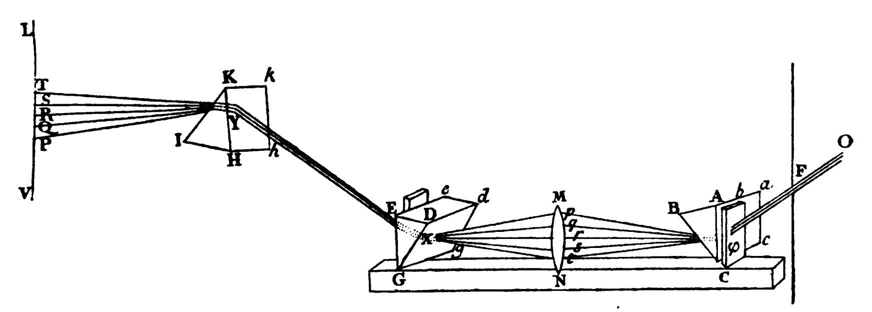
der übrige Teil des Spektrums von dem zweiten Brette aufgefangen wurde und auf demselben das farbige Spektrum der Sonne entstehen liefs. Unmittelbar hinter dem zweiten Brett de brachte ich dann ein anderes Prisma abc an, welches das die Öffnung g passierende Licht ablenken sollte. Indem ich nun das erste Prisma ABC langsam um seine Axe hin und her drehte, bewirkte ich, dafs das Spektrum auf dem zweiten Brett sich auf- und abbewegte, sodafs alle Teile desselben nacheinander durch das Loch g in jenem Brette gelangen und auf das Prisma hinter demselben fallen mufsten. Gleichzeitig merkte ich die Stellen auf der gegenüberliegenden Wand NM an, auf welche die Lichtstrahlen nach ihrem Durchgange durch das zweite Prisma abc gelangten. Aus der verschiedenen Höhe dieser Stellen fand ich, dafs die Strahlen stärkster Brechbarkeit, welche den blauen Teil des Spektrums bildeten, auch im zweiten Prisma stärker gebrochen wurden als das rote Licht.

F sei die Öffnung in dem Fensterladen, durch welche die Sonne auf das erste Prisma ABC scheint. Nach der Brechung fällt das Licht auf die Mitte des Brettes DE, und ein Teil dieses Lichtbündels tritt durch die Öffnung G, die sich in der Mitte dieses Brettes befindet. Den hindurchgetretenen Teil des Lichtes lasse man wieder auf die Mitte des zweiten Brettes de fallen und dort ein derartiges längliches Spektrum hervorrufen, wie wir es weiter oben beschrieben haben. Dreht man jetzt das Prisma ABC langsam um seine Axe hin und her, so wird dieses Bild sich auf dem Brette de auf- und abbewegen und auf diese Weise werden alle Teile des Spektrums veranlafst, nacheinander durch die Öffnung g zu treten, welche sich in der Mitte jenes Brettes befindet. Inzwischen wird ein anderes Prisma abc unmittelbar hinter der Öffnung g angebracht, um den hindurchgefallenen Lichtstrahl zum zweiten Male zu brechen. Nachdem diese Anordnungen getroffen waren, merkte ich mir die Stellen M und N der gegenüberliegenden Wand, auf welche der gebrochene Strahl fiel. Ich fand, dafs wenn die beiden Bretter und das zweite Prisma unverrückt blieben, jene Stellen bei der Drehung des ersten Prismas sich fortwährend änderten. Trat nämlich der untere Teil des Lichtes, das zu dem zweiten Brett de gelangte, durch die Öffnung g, so gelangte dieses Licht zu einer tieferen Stelle M der Wand. Wurde dagegen der obere Teil des Spektrums durch dieselbe Öffnung g geworfen, so gelangte der betreffende Strahl zu der höheren Stelle N. Ein dazwischen befindlicher Teil des Spektrums endlich fiel nach dem Passieren der Öffnung zwischen den Stellen M und N auf die Wand. Die unveränderte

Lage der Öffnungen G, g in den Brettern bedingte, dafs der Einfallswinkel für das Prisma abc in allen Fällen derselbe blieb. Dennoch wurden bei gleichem Einfallswinkel die einen Strahlen mehr gebrochen als die anderen, und zwar wurden diejenigen stärker gebrochen, die auch in dem ersten Prisma mehr aus ihrer Richtung abgelenkt worden waren. Dieselben werden daher, weil sie beständig stärker abgelenkt werden, passend als Strahlen gröfserer Brechbarkeit bezeichnet.

B. Durch Mischung farbigen Lichtes einen Strahl zusammenzusetzen, der in seinen Eigenschaften mit dem unveränderten Sonnenlichte übereinstimmt.

ABCabc in nachstehender Figur 14 stellt ein Prisma vor, welches das in ein dunkles Zimmer fallende Sonnenlicht so bricht, dafs es auf die Linse MN fällt und darauf bei pqrst die bekannten Spektralfarben erzeugt. Die divergierenden Strahlen werden dann vermöge der Brechung durch die Linse nach X gelangen und daselbst durch Mischung sämtlicher Farben einen weifsen Lichtstrahl erzeugen.



Eig. 14. Vereinigung der Spektralfarben zu weifsem Licht.
(Newtons Optik, II, Taf. IV, Fig. 16.)

Darauf werde ein zweites Prisma DEGdeg parallel dem ersten in X aufgestellt, um das weifse Licht aufwärts nach Y zu brechen. Der Brechungswinkel der Prismen und ihre Abstände von der Linse seien gleich, so dafs die Strahlen, welche nach X konvergieren und ohne eine dort stattfindende Brechung sich daselbst schneiden und hierauf wieder divergieren würden, durch die Brechung des zweiten Prismas parallel gemacht werden. Ist letzteres der Fall, so werden diese Strahlen wieder einen weifsen Lichtstrahl zusammensetzen, und man kann sämtliche Versuche mit

diesem zusammengesetzten Strahl X Y anstellen, die im direkten Sonnenlichte gemacht wurden. Durch Auffangen irgend einer Spektralfarbe p q r s t vor der Linse M N läfst sich zeigen, dafs die durch Versuche mit dem Strahl X Y erzeugten Farben keine anderen sind als diejenigen, welche den Strahlen p q r s t, aus denen X Y zusammengesetzt wurde, entsprechen. Daraus ist ersichtlich, dafs die Farben nicht durch irgend eine, infolge der Brechung und der Reflexion bewirkte Veränderung des Lichtes sich erst bilden, sondern aus der Trennung und Zusammensetzung von Strahlen hervorgehen, von denen jeder ein bestimmtes ursprüngliches Vermögen, eine gewisse Farbe nämlich hervorzurufen, besitzt. So unterwarf ich den zusammengesetzten Strahl X Y vermittelst eines anderen Prismas HIK kh der Brechung und erhielt dadurch die bekannten Spektralfarben P Q R S T auf dem hinter dem Prisma angebrachten Papier L V. Wenn ich nun irgend eine der Farben p q r s t bei der Linse M N auffing, so verschwand jedesmal dieselbe Farbe auf dem Papier L V. Fängt man z. B. das Grün vor der Linse auf, so verschwindet auch das Grün auf dem Papier, und ebenso verhält es sich im übrigen. Dies zeigt deutlich, dafs nicht nur der weifse Strahl X Y aus den verschiedenen farbigen Strahlen, welche in die Linse M N eintreten, zusammengesetzt ist, sondern dafs auch die Farben, welche später infolge einer neuen Brechung auftreten, keine anderen sind als diejenigen, aus denen X Y entstanden ist. Das Prima HIK kh erzeugt also die Farben P Q R S T auf dem Papier nicht durch eine Veränderung der Beschaffenheit der Strahlen, sondern dadurch, dafs es die Strahlen wieder von einander trennt, ohne Einflufs auf die Eigenschaften, welche sie besafsen, bevor sie an der Bildung des weifsen Lichtstrahls X Y teilnahmen.

Um die Ursache der Körperfarben zu erfahren, brachte ich Gegenstände in den Strahl X Y und fand, dafs sie dort sämtlich in der ihnen eigentümlichen Farbe erschienen, die sie bei Tageslicht besitzen, und dafs die Körperfarben von den Strahlen herrühren, welche die gleiche Farbe bei der Linse M N besitzen, bevor sie in die Bildung des weifsen Strahles eintreten. So zeigt z. B. Zinnober in dem Lichtstrahl X Y dieselbe Farbe wie im Tageslicht, und wenn man bei der Linse die grünen und die blauen Strahlen auffängt, wird seine rote Farbe noch voller und lebhafter. Beseitigt man aber daselbst diejenigen Lichtstrahlen, welche die rote Farbe hervorrufen, so erscheint der Zinnober nicht mehr rot, sondern er ist gelb oder grün oder von anderer Farbe, entsprechend

den Strahlenarten, welche auf ihn gefallen sind. So erscheint Gold in X Y gebracht in derselben Farbe, die es bei Tageslicht besitzt. Fängt man jedoch bei der Linse M N die gelben Strahlen auf, so erscheint das Gold so weifs wie Silber. Dies zeigt, dafs seine gelbe Farbe von den aufgefangenen Strahlen herrührt, welche dem Golde ihre Farbe verleihen, wenn sie Zutritt erhalten.

---

18. Newton entdeckt das Gravitationsgesetz. 1682.

Geschichte der Entdeckung der Gravitation. Newtons Verfahren und die auf seine Entdeckungen gegründete Theorie. Dieselbe Ursache, welche das Fallen der Körper auf der Erde bewirkt, zwingt den Mond, sich um die Erde zu bewegen [1]).

Über Newton Siehe 17, Seite 77. Newton entwickelte seine Gravitationstheorie in den „mathematischen Prinzipien der Naturwissenschaft“ [2]). Dieses Hauptwerk Newtons eignet sich jedoch wenig zu einer auszugsweisen Wiedergabe. Newtons Theorie fand indessen einen beredten, wenn auch dilettantischen Verfechter in Voltaire (1694—1778), welcher 1745 einer schöngeistigen Freundin [3]) eine Schrift unter dem Titel „Elemente der Philosophie Newtons“ widmete. Nachstehend sei eins der wichtigsten Kapitel dieses Buches wiedergegeben.

Jeder Körper fällt etwa fünfzehn Fufs in der ersten Sekunde, an welchem Orte der Erde er sich auch befinden möge. Man bemerkt ferner, dafs die Geschwindigkeit der fallenden Körper zunimmt, während sie sich der Erde nähern. Sie streben dabei alle offenbar gegen den Mittelpunkt der Erdkugel. Müssen wir deshalb nicht eine Kraft annehmen, welche sie gegen dieses Centrum treibt, und mufs diese Kraft nicht gröfser werden in dem Mafse, wie wir uns diesem Centrum nähern? Schon Kopernikus ahnte diese

---

1) Voltaire, Elements de la philosophie de Newton, Amsterdam 1738 3. Teil, 3. Kapitel, übersetzt von Friedrich Dannemann aus „Oeuvres complètes de Voltaire, Bd. 31. Gotha 1786“.

2) Philosophiae naturalis principia mathematica, London 1687. Übersetzt von Wolfers, Berlin 1872.

3) Der Marquise de Châtelet.

Idee. Keppler erfaſste sie, ohne sie jedoch durchzuführen. Erst Bacon sprach es deutlich aus, daſs wahrscheinlich eine wechselseitige Anziehung zwischen den Körpern und dem Erdcentrum existiere. In seinem ausgezeichneten Werke, Novum scientiarum organum[1], macht er den Vorschlag, man solle Versuche mit Pendeln auf den höchsten Türmen und an sehr tief gelegenen Orten anstellen. Denn, so sagt er, wenn dasselbe Pendel am Grunde eines Schachtes schneller schwingt als auf einem Turm, so muſs man schlieſsen, daſs die Schwere, welche die Ursache dieser Schwingungen ist, gegen das Centrum der Erde zunimmt. Er lieſs auch Körper in verschiedenen Höhen fallen und untersuchte, ob sie weniger als fünfzehn Fuſs in der ersten Sekunde zurücklegten. Es zeigte sich aber niemals ein Unterschied bei seinen Versuchen, da die Höhenunterschiede zu gering waren. Die Frage blieb somit unentschieden, und die Vorstellung einer vom Mittelpunkte der Erde aus wirkenden Kraft beschränkte sich auf eine bloſse Vermutung.

Auch Descartes war mit dem Problem bekannt. Er spricht selbst davon, indem er die Schwere erörtert. Indes fehlte es noch an den nötigen Erfahrungen, um die groſse Frage zur Entscheidung zu bringen.

Eines Tages, es war im Jahre 1666, beobachtete Newton während eines Landaufenthalts, wie die Früchte von einem Baume fielen. Infolgedessen versank er, wie mir seine Nichte erzählt hat, in Nachdenken über die Ursache, welche alle Körper zwingt, sich gegen den Mittelpunkt der Erde zu bewegen[2].

Welches ist, so fragte er sich, diese Kraft? Sie würde auf die Frucht, die soeben vom Baume fiel, auch wirken, wenn sich dieselbe in einer Höhe von 3000, selbst 10000 Toisen befände. Wenn dem so ist, so muſs sie auch von dem Orte, wo sich die Mondkugel befindet, bis zum Centrum der Erde wirken. Und weiter muſs diese Kraft, worin sie auch bestehen möge, dieselbe sein, welche die Planeten gegen die Sonne treibt und die Monde des Jupiters um denselben sich bewegen läſst. Nun ist durch alle Folgerungen, die man aus den Gesetzen Kepplers gezogen hat,

[1]) Dasselbe erschien im Jahre 1620. Siehe Abschnitt 14, S. 57.

[2]) Jemand fragte eines Tages Newton, auf welchem Wege er die Gesetze des Weltsystems entdeckt habe. Indem ich fortgesetzt darüber nachdachte, war seine Antwort. Das ist das Geheimnis aller groſsen Entdeckungen. Das wissenschaftliche Genie hängt von der intensiven und beharrlichen Aufmerksamkeit ab, deren der Kopf eines Menschen fähig ist (Anmerkung Voltaires).

bewiesen, dafs alle Weltkörper zweiter Ordnung auf den Weltkörper zustreben, der sich im Brennpunkte ihrer Bahnen befindet, und zwar in einem um so höheren Grade, je näher sie demselben sind. Ein Körper, der sich an der Stelle des Mondes befindet und ein Körper in der Nähe der Erde müssen also beide auf die Erde zustreben, und zwar nach einem bestimmten Gesetz, welches eine gewisse, von den Entfernungen abhängige Gröfse zum Ausdruck bringt.

Um sich also darüber Gewifsheit zu verschaffen, ob dieselbe Ursache die Planeten in ihre Bahnen zwingt, welche auf der Erde den freien Fall bewirkt, bedarf es nur der Messung. Man hat nur nötig zu untersuchen, welchen Raum ein Körper auf der Erde und ein solcher in der Entfernung des Mondes von der Erde in einer gegebenen Zeit durchfällt. Der Mond selbst ist ein Körper, den man als gegen die Erde fallend betrachten kann, und zwar durchfällt derselbe in jedem Augenblicke das Stück, um welches er sich von der Tangente seiner Bahn entfernt. Man mufs also genau die Entfernung des Mondes von der Erde kennen, und dazu ist wieder nötig, dafs die Gröfse unserer Erdkugel bekannt ist.

Dieses waren die Überlegungen Newtons. Er hielt sich jedoch, was die Dimensionen der Erde anbetraf, an die unrichtige Schätzung der Seeleute, welche 60 englische Meilen auf den Breitengrad rechneten, während man 70 rechnen mufs. Es gab zwar schon damals in der That ein genaueres Mafs für die Erde; Snellius[1]) hatte dasselbe im Anfange des 17. Jahrhunderts gefunden. Auch ein englischer Mathematiker[2]) hatte im Jahre 1636 einen Grad mit hinreichender Genauigkeit gemessen und der Wahrheit entsprechend etwa gleich 70 Meilen gefunden. Diese 30 Jahre früher ausgeführte Messung war jedoch Newton ebenso unbekannt wie diejenige des Snellius. Die Bürgerkriege, welche England heimgesucht hatten, waren den Wissenschaften in gleicher Weise verhängnisvoll geworden wie dem Staat. Daher kam es, dafs das einzige genaue Mafs der Erde in Vergessenheit geraten war und man sich an jene oberflächliche Schätzung der Seeleute hielt. Auf Grund derselben wurde die Entfernung des Mondes von der Erde zu gering

---

[1]) Snellius wurde 1591 zu Leyden geboren und starb daselbst 1621. Er ist als der Entdecker des Brechungsgesetzes bekannt. Die von ihm zwischen Bergen op Zoom und Alkmaar angestellte Gradmessung ergab den Wert von 55072 Toisen. Es war dies die erste Messung, bei welcher die Methode der Triangulation angewandt wurde.

[2]) Norvood.

bestimmt, und die Werte, welche Newton fand, ergaben kein Verhältnis, weder zum reciproken Werte der Entfernungen, noch zum Quadrat derselben. Er gab daher seine Bemühungen auf, da er der Natur keinen Zwang anthun, sondern seine Vorstellungen derselben anpassen wollte.

Endlich gelang es Newton auf Grund der sehr genauen in Frankreich ausgeführten Messung der Erde[1]) seine Theorie zu beweisen. Es ergab sich, dafs die Schwerkraft im umgekehrten Verhältnis des Quadrats der Entfernungen wirkt; das heifst, ein Körper, welcher an der Oberfläche der Erde 100 Pfund wiegt, wird in der 10fachen Entfernung vom Mittelpunkte der Erde nur noch 1 Pfund wiegen.

Die Schwerkraft ist keineswegs das Resultat der Wirbelbewegung einer sehr feinen Materie[2]); sie wirkt nämlich auf die Körper nicht im Verhältnis ihrer Oberflächen, sondern ihrer Massen. Wenn ihre Wirkungen sich ferner umgekehrt wie die Quadrate der Entfernungen verhalten, so mufs ein Körper, welcher 60 Radien vom Centrum der Erde entfernt ist, in 60 Sekunden 15 Fufs zurücklegen, weil der Fallraum auf der Erde 54000 Fufs in 60 Sekunden beträgt[3]).

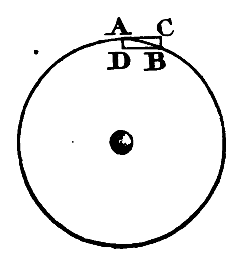


Fig. 15. Die Bewegung des Mondes um die Erde.

Der Mond ist nun im Mittel 60 Erdhalbmesser von uns entfernt. Aus den in Frankreich ausgeführten Messungen ergiebt sich, wie viel Fufs die Länge der Mondbahn beträgt; man weifs, dafs der Mond im Mittel 187961 Pariser Fufs in einer Minute zurücklegt.

Der Mond sei in dieser Zeit von A nach B gelangt, und zwar unter dem Einflufs der Wurfkraft, die ihn in der Richtung der Tangente von A nach C getrieben haben würde, und der Schwerkraft, die ihn zwingt, die Strecke AD = CB in einer Minute zurückzulegen. Denken wir uns die Kraft, welche ihn von A nach C führt, beseitigt, so würde eine Kraft übrig bleiben,

[1]) Gemeint ist die Gradmessung, welche Picard (1620—1682) im Jahre 1679 zwischen Amiens und Malvoisine ausführte. Sie ergab für einen Grad die Länge von 57060 Toisen.

[2]) Solche Wirbel hatte Descartes (1596—1650) zur Erklärung der Planetenbewegung angenommen.

[3]) In dieser Entfernung wäre dann die Wirkung 60 mal 60 = 3600 mal geringer. 54000 : 3600 = 15.

deren Gröfse durch die Strecke AD ausgedrückt werden kann. Nun läfst sich berechnen, dafs, wenn die Kurve AB 187961 Fufs beträgt, die Strecke AD nur 15 Fufs lang ist. Der Mond würde somit in einer Minute 15 Fufs gefallen sein. Diese Strecke ist aber genau 3600 mal geringer als diejenige, welche ein frei fallender Körper hier auf der Erde in einer Minute zurücklegt; 3600 ist ferner gerade das Quadrat der Entfernung des Mondes.

Die Schwerkraft, welche somit dem Monde seine Bahn anweist, zwingt auch die Erde in die ihrige; ebenso sind alle übrigen Planeten ihr unterworfen. Man wird daher zugeben müssen, dafs diese Kraft es ist, welche die ganze Natur beherrscht.

---

19. Das Licht wird von Huygens für eine Wellenbewegung des Äthers erklärt. 1678.

Huygens, Abhandlung über das Licht[1]).

Über die geradlinige Ausbreitung der Strahlen.

Christian Huygens, 1629 im Haag geboren, war einer der hervorragendsten Physiker und Mathematiker des 17. Jahrhunderts; er hat sich besonders durch die Erfindung der Pendeluhr und die Aufstellung der Wellentheorie des Lichtes grofse Verdienste erworben. Allerdings errang diese Theorie erst im Beginn des 19. Jahrhunderts den endgültigen Sieg über die von Newton aufgestellte Emissionstheorie. Huygens starb im Jahre 1695. Näheres über ihn siehe Bd. II. d. Grdr. (1. Aufl.) S. 199 u. f.

Man wird nicht zweifeln können, dafs das Licht in der Bewegung einer gewissen Materie besteht. Denn betrachtet man seine Erzeugung, so findet man, dafs hier auf der Erde das Licht hauptsächlich durch das Feuer und die Flamme hervorgerufen wird, welche ohne Zweifel in rascher Bewegung befindliche Körper enthalten, da sie ja zahlreiche andere sehr feste Körper auflösen und schmelzen;

---

1) Der Titel des Originals, welches im Jahre 1690 in Leyden erschien, lautet: Traité de la lumière par Christian Huygens. Eine erläuterte Übersetzung wurde 1890 von E. Lommel bei W. Engelmann in Leipzig herausgegeben; sie bildet das 20. Bändchen von Ostwalds Klassikern der exakten Wissenschaften. Der vorliegende Abschnitt ist eine gekürzte Wiedergabe des ersten Kapitels.

Betrachtet man ferner seine Wirkungen, so sieht man, dafs das etwa durch Hohlspiegel gesammelte Licht die Kraft hat, wie das Feuer zu erhitzen, d. h. die Teile der Körper zu trennen. Dies deutet sicherlich auf Bewegung hin, wenigstens in der wahren Philosophie, in welcher man die Ursache aller natürlichen Wirkungen auf mechanische Gründe zurückführt. Dies mufs man aber meiner Ansicht nach thun oder völlig auf jede Hoffnung verzichten, jemals in der Physik etwas zu begreifen.

Da man nun nach dieser Philosophie für sicher hält, dafs der Gesichtssinn nur durch den Eindruck einer gewissen Bewegung eines Stoffes erregt wird, der auf die Nerven im Innern unserer Augen wirkt, so ist dies ein weiterer Grund zu der Ansicht, dafs das Licht in einer Bewegung der zwischen uns und dem leuchtenden Körper befindlichen Materie besteht.

Man beachte ferner die aufserordentliche Geschwindigkeit, mit welcher das Licht sich nach allen Richtungen hin ausbreitet, und erwäge, dafs wenn es von verschiedenen, ja selbst von entgegengesetzten Stellen herkommt, die Strahlen sich einander durchdringen, ohne sich zu hindern. Man begreift dann, dafs wenn wir einen leuchtenden Gegenstand sehen, dies nicht durch die Übertragung einer Materie geschehen kann, welche von diesem Objekte bis zu uns gelangt, wie etwa ein Geschofs oder ein Pfeil die Luft durchfliegt. Das Licht mufs sich demnach auf eine andere Weise ausbreiten, und gerade die Kenntnis, welche wir von der Fortpflanzung des Schalles in der Luft besitzen, kann uns dazu führen, die Ausbreitung des Lichtes zu verstehen.

Wir wissen, dafs vermittelst der Luft, die ein unsichtbarer Körper ist, der Schall sich im ganzen Umkreis des Ortes, wo er erzeugt wurde, durch eine Bewegung ausbreitet, welche allmählich von einem Luftteilchen zum anderen fortschreitet. Da die Ausbreitung dieser Bewegung nach allen Seiten gleich schnell erfolgt, müssen sich gleichsam Kugelflächen bilden, welche sich immer mehr erweitern und schliefslich unser Ohr treffen. Es ist nun zweifellos, dafs auch das Licht von den leuchtenden Körpern bis zu uns durch irgend eine Bewegung gelangt, welche der dazwischen befindlichen Materie mitgeteilt wird; denn wir haben ja bereits gesehen, dafs dies durch die Fortführung eines Körpers, der etwa von dort hierher gelangt, nicht möglich ist. Wenn nun, wie wir alsbald untersuchen werden, das Licht zu seinem Wege Zeit gebraucht, so folgt daraus, dafs diese der Materie mitgeteilte Bewegung eine allmähliche ist. Sie mufs sich deshalb ebenso wie diejenige des

Schalles in kugelförmigen Flächen oder Wellen ausbreiten; ich nenne sie nämlich Wellen wegen der Ähnlichkeit mit den Wellen, welche man im Wasser beim Hineinwerfen eines Steines sich bilden sieht, weil diese eine ebensolche allmähliche Ausbreitung in die Runde wahrnehmen lassen, obschon sie aus einer anderen Ursache entspringen und nur in einer ebenen Fläche sich bilden.

Um nun zu erkennen, ob die Fortpflanzung des Lichtes Zeit beansprucht, untersuchen wir zuerst, ob es Versuche giebt, welche uns von dem Gegenteil überzeugen könnten. Betreffs derjenigen, welche man hier auf der Erde mit weit entfernten Flammen ausführen kann, läfst sich nur beweisen, dafs das Licht keine merkliche Zeit zum Durchlaufen irdischer Entfernungen gebraucht. Doch kann man mit Recht behaupten, dafs diese Entfernungen zu klein sind und dafs man daraus nur schliefsen darf, die Fortpflanzung des Lichtes sei eine aufserordentlich schnelle.

Die Geschwindigkeit des Lichtes wird darauf aus den im Jahre 1676 an den Jupitermonden angestellten Beobachtungen Römers abgeleitet und gleich 110 Millionen Toisen gefunden[1]. *Da eine Toise = 1,948 m ist, so würde sich nach Huygens die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalles auf 0,350 km, diejenige des Lichtes aber auf 214 000 km belaufen. Ersterer Wert ist zu grofs, letzterer um etwa 100 000 km zu klein.*

Der Schall legt nur 180 Toisen in einer Sekunde zurück, die Lichtgeschwindigkeit ist dagegen mehr als 600 000 mal so grofs. Eine solche Fortpflanzung ist gleichwohl etwas ganz anderes, als eine augenblickliche; denn zwischen jener und dieser besteht derselbe Unterschied wie zwischen dem Endlichen und dem Unendlichen. Da nun die allmähliche Fortpflanzung des Lichtes festgestellt ist, so folgt, wie ich schon gesagt habe, dafs es sich ebenso wie der Schall in kugelförmigen Wellen ausbreitet.

Wenn sich hierin nun auch beide gleichen, so unterscheiden sie sich doch in mehreren Beziehungen. Der Schall wird bekanntlich durch die plötzliche Erschütterung eines ganzen Körpers oder eines beträchtlichen Teiles eines solchen hervorgebracht, welche die gesamte umgebende Luft in Bewegung setzt. Die Lichtbewegung hingegen mufs von jedem Punkte des leuchtenden Gegenstandes ausgehen, damit man alle verschiedenen Teile dieses Gegenstandes wahrnehmen kann, wie in der Folge deutlicher gezeigt werden soll. Nach meiner

[1]) Siehe Bd. II. d. Grdr. (1. Aufl.) S. 201 und 202.

Meinung läfst sich diese Bewegung durch nichts besser als dadurch erklären, dafs man annimmt, die leuchtenden Körper seien aus Teilchen zusammengesetzt, welche mit einer grofsen Geschwindigkeit bewegt und gegen die umgebenden, viel kleineren Ätherteilchen gestofsen werden. Die Bewegung der Teilchen, welche das Licht erzeugen, mufs übrigens viel schneller und heftiger sein als diejenige der Körper, welche den Schall verursachen, denn wir sehen, dafs die zitternde Bewegung eines tönenden Körpers ebensowenig imstande ist Licht zu erzeugen, wie die Bewegung der Hand in der Luft Schall hervorzubringen vermag.

Die jetzt folgende Untersuchung über das Wesen der von mir Äther genannten Materie, in welcher die von den leuchtenden Körpern kommende Bewegung sich ausbreitet, wird zeigen, dafs diese Substanz nicht dieselbe ist, wie diejenige, welche zur Ausbreitung des Schalles dient. Denn man findet, dafs die letztere nichts anderes ist als die Luft, welche wir fühlen und atmen, und dafs, wenn man sie wegnimmt, die andere dem Lichte dienende Materie noch immer zurückbleibt. Dies beweist man dadurch, dafs man einen tönenden Körper in ein Glasgefäfs einschliefst, aus welchem man sodann die Luft mit der von Boyle erfundenen und zu so vielen schönen Versuchen benutzten Luftpumpe herauszieht[1]). Wenn man das hier erwähnte Experiment anstellt, so mufs man sorgfältig darauf bedacht sein, den tönenden Körper auf Baumwolle oder Federn zu legen, sodafs er seine Erzitterungen weder dem Glasgefäfse, noch der Maschine mitteilen kann, was bis jetzt vernachlässigt worden ist. Denn dann wird man, wenn alle Luft herausgepumpt ist, den Klang des Metalls gar nicht hören, obgleich es angeschlagen wird.

Man ersieht hieraus nicht nur, dafs unsere Luft, diejenige Materie ist, durch welche der Schall sich fortpflanzt, sondern auch, dafs das Licht sich in einer anderen Materie ausbreitet, da das Licht, selbst wenn man die Luft aus jenem Gefäfse entfernt hat, durch dasselbe ebenso wie vorher hindurchgeht.

Letzteres tritt noch deutlicher hervor bei dem berühmten Toricellischen Versuche[2]), wo der ganz luftleer bleibende Teil

[1]) Die Erfindung der Luftpumpe ist mit Unrecht oft dem Engländer Boyle (1627—1691) zugeschrieben worden. Der Ruhm dieser Erfindung gebührt unstreitig allein Otto von Guericke (Siehe Abschn. 16 d. Bds.)

[2]) Evangelista Toricelli (1608—1647). Der bekannte Versuch, welcher zur Erfindung des Barometers führte, wurde im Jahre 1643 auf Torricellis Veranlassung von seinem Freunde Viviani ausgeführt.

der Glasröhre, aus welcher sich das Quecksilber zurückgezogen hat, das Licht ebenso durchläfst, als wenn Luft darin ist. Dies beweist, dafs ein von der Luft verschiedener Stoff sich in der Röhre befindet.

Was die bereits erwähnte Verschiedenheit in der Art der Fortpflanzung der Schall- und Lichtbewegung anbelangt, so kann man beim Schall den Vorgang so ziemlich verstehen, wenn man beachtet, dafs die Luft zusammengeprefst und so auf einen viel geringeren Raum beschränkt werden kann, als sie gewöhnlich einnimmt, und dafs sie in dem Mafse, wie sie komprimiert ist, sich wieder auszudehnen strebt. Dieser Umstand in Verbindung mit ihrer Durchdringlichkeit, welche ihr trotz der Kompression verbleibt, scheint zu beweisen, dafs sie aus kleinen Körperchen besteht, welche in der aus viel kleineren Teilchen zusammengesetzten Äthermaterie schwimmen und darin sehr schnell hin- und herbewegt werden. Die Ursache für die Ausbreitung der Schallwellen ist hiernach das den sich untereinander stofsenden Körperchen innewohnende Bestreben, sich wieder von einander zu entfernen, sobald sie im Umfang dieser Wellen ein wenig mehr als anderswo zusammengedrängt sind.

Der aufserordentlichen Geschwindigkeit und den übrigen Eigenschaften des Lichtes würde dagegen eine solche Art der Fortpflanzung Genüge leisten. Ich will daher zunächst darlegen, von welcher Art dieselbe nach meiner Ansicht sein mufs. Ich mufs zu diesem Zwecke erklären, auf welche Weise harte Körper ihre Bewegung einander mitteilen.

Nimmt man eine Anzahl gleich grofser Kugeln aus sehr hartem Material und ordnet sie in gerader Linie so an, dafs sie sich berühren, so wird, wenn eine gleiche Kugel gegen die erste derselben stöfst, die Bewegung wie in einem Augenblicke bis zur letzten gelangen, welche sich von der Reihe trennt, ohne dafs man bemerkt, dafs die übrigen sich bewegt hätten. Die Kugel, welche den Stofs ausgeübt hat, bleibt sogar unbeweglich mit den übrigen vereinigt[1]. Es offenbart sich also hierin ein Bewegungsübergang von aufserordentlicher Geschwindigkeit, welche umso gröfser ist, je gröfsere Härte die Substanz der Kugeln besitzt.

---

[1] Dieser in vielen Lehrbüchern der Physik beschriebene Apparat (z. B. Wüllner, Lehrbuch der Experimentalphysik, 3. Aufl., Bd. I, Fig. 66) zum Nachweis der Gesetze des Stofses wurde von Mariotte angegeben (Traité de la percussion ou choc des corps. Paris 1677).

Dieses Fortschreiten der Bewegung geschieht aber, wie ferner feststeht, nicht augenblicklich, sondern nach und nach; es ist demnach Zeit dazu notwendig. Denn, wenn die Neigung zur Bewegung nicht nach und nach durch alle Kugeln ginge, so würden sie dieselbe alle zu gleicher Zeit annehmen und demnach alle zusammen vorwärts gehen; dies geschieht jedoch nicht, sondern nur die letzte verläfst die Reihe und nimmt die Geschwindigkeit derjenigen an, welche gestofsen hat. Es giebt ferner Versuche, welche beweisen, dafs alle Körper, welche wir zur Klasse der sehr harten zählen, wie gehärteter Stahl, Glas und Achat, elastisch sind und nachgeben, nicht nur, wenn sie zu Stäben ausgestreckt, sondern auch, wenn sie kugelförmig oder anders gestaltet sind. Dieselben werden nämlich an der Stelle, wo sie gestofsen werden, ein wenig eingedrückt und nehmen dann sogleich ihre frühere Gestalt wieder an. Wenn ich nämlich mit einer Glas- oder mit einer Achatkugel gegen ein sehr dickes aus dem gleichen Stoffe hergestelltes Stück schlug, welches eine ebene und durch den Atem oder auf eine andere Weise getrübte Oberfläche hatte, so blieben darauf gröfsere oder kleinere runde Flecke zurück, je nachdem der Schlag stark oder schwach war. Hieraus ersieht man, dafs diese Stoffe beim Aufeinanderstofsen nachgeben und sodann in ihre frühere Form wieder zurückgehen, wozu sie notwendigerweise Zeit gebrauchen.

Um nun diese Bewegungsart auf diejenige anzuwenden, durch welche das Licht erzeugt wird, nehme ich an, dafs die Ätherteilchen aus einer Materie bestehen, welche der vollkommenen Härte sich so sehr nähert und so grofse Elasticität besitzt, wie man will. Für den vorliegenden Zweck brauchen wir weder die Ursache für eine solche Härte, noch diejenige für die Elasticität zu untersuchen, da diese Betrachtung uns zu weit von unserem Gegenstande entfernen würde.

Wenn wir auch die wahre Ursache der Elasticität nicht kennen, so sehen wir doch immerhin, dafs es viele Körper giebt, welche diese Eigenschaft besitzen. Darum hat es auch nichts Seltsames an sich, sie auch bei unsichtbaren Körperteilchen, vorauszusetzen. Man wird keine andere Art der successiven Mitteilung der Lichtbewegung finden, welche besser als die Elasticität mit dem gleichmäfsigen Fortschreiten übereinstimmt. Jede andere Art der Bewegung würde sich nämlich nach Mafsgabe ihrer Verteilung auf mehr Materie mit der Entfernung von der Lichtquelle verlangsamen und infolgedessen nicht eine solch grofse Geschwin-

digkeit auf so grofse Entfernung beibehalten können. Setzt man dagegen Elasticität in der Äthermaterie voraus, so besitzen deren Teilchen die Eigenschaft, gleich rasch zurückzuschnellen, mögen sie stark oder schwach angestofsen werden; und so ist es erklärlich, dafs das Fortschreiten des Lichtes immer mit der gleichen Geschwindigkeit erfolgt.

Ich habe also gezeigt, auf welche Weise man sich die allmähliche Ausbreitung des Lichtes durch kugelförmige Wellen vorstellen kann, und wie es möglich ist, dafs diese Fortpflanzung mit einer so grofsen Geschwindigkeit geschieht, wie die Versuche und die astronomischen Beobachtungen sie darthun. Hierzu mufs jedoch noch folgendes bemerkt werden. Obgleich man die Ätherteilchen in beständiger Bewegung annimmt (hierfür giebt es nämlich sehr viele Gründe), kann die Fortpflanzung der Wellen dadurch nicht gehindert werden. Sie besteht nämlich nicht in der Fortbewegung dieser Teilchen, sondern nur in einer geringen Erschütterung, welche dieselben trotz der sie hin- und hertreibenden und ihre gegenseitige Lage verändernden Bewegung auf die umgebenden Teilchen übertragen müssen.

Es ist aber nötig, den Ursprung dieser Wellen und die Art ihrer Fortpflanzung noch eingehender zu betrachten. Zunächst folgt nämlich aus den obigen Bemerkungen über die Erzeugung des Lichtes, dafs jede kleine Stelle eines leuchtenden Körpers, wie der Sonne, einer Kerze oder einer glühenden Kohle, ihre Wellen erzeugt, deren Mittelpunkt diese Stelle ist. In einer Kerzenflamme seien demnach A, B, C, verschiedene Punkte, dann stellen die um jeden dieser Punkte beschriebenen konzentrischen Kreise die Wellen dar, welche von ihnen ausgehen.



Fig. 16.
(Aus Huygens, Abhandlung über das Licht.

Es braucht übrigens eine solch ungeheure Menge von Wellen, welche sich durchkreuzen, ohne sich gegenseitig aufzuheben, nicht unbegreiflich zu erscheinen, da bekanntlich ein und dasselbe Stoffteilchen mehrere Wellen fortpflanzen kann, welche von verschiedenen oder sogar von entgegengesetzten Seiten kommen. Und zwar geschieht dies nicht nur, wenn dasselbe durch rasch aufeinander folgende Stöfse, sondern auch, wenn es durch Stöfse getroffen wird, welche in demselben Augenblicke darauf einwirken. Es läfst sich dies durch die oben erwähnte Reihe gleicher Kugeln

aus hartem Stoffe nachweisen. Wenn man nämlich gegen dieselbe von entgegengesetzten Seiten in demselben Augenblicke ähnliche Kugeln A und D stofsen läfst, so wird man jede mit derselben Geschwindigkeit, welche sie beim Aufprall hatte, zurückschnellen und die ganze Reihe an ihrer Stelle verharren sehen, obgleich die Bewegung vollständig und zwar zweimal durch sie hindurchgegangen ist.

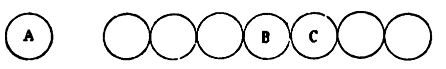


Fig. 17. Fortpflanzung des Stofses.
(Aus Huygens, Abhandlung über das Licht.)

Zunächst könnte es nun unglaublich erscheinen, dafs die durch die Bewegung so kleiner Körperchen hervorgebrachten Wellen sich auf so ungeheure Entfernungen fortzupflanzen vermögen, wie z. B. von der Sonne oder den Fixsternen bis zur Erde. Denn die Kraft dieser Wellen mufs sich in dem Mafse abschwächen, in welchem sie sich von ihrem Ursprunge entfernen, sodafs die Wirkung einer jeden für sich allein ohne Zweifel unfähig werden wird, sich unserem Gesichtssinne wahrnehmbar zu machen. Man wird indessen nicht mehr staunen, wenn man erwägt, dafs in einer grofsen Entfernung vom leuchtenden Körper eine Unzahl von Wellen, obwohl sie von verschiedenen Punkten des Körpers ausgesandt sind, sich vereinigen, sodafs sie nur eine einzige Welle bilden, welche demnach genug Kraft besitzen mufs, um sich auf solche Entfernungen bemerklich zu machen.

Die unendliche Zahl von Wellen, welche in demselben Augenblicke von allen Punkten eines Fixsternes, etwa eines so grofsen wie die Sonne, herkommen, bilden nahezu nur eine einzige Welle, welche allerdings genügend Kraft besitzen kann, um auf unsere Augen Eindruck zu machen. Zudem trägt der Umstand, dafs von jedem leuchtenden Punkte infolge der häufigen Stöfse der Körperteilchen, welche in diesen Punkten den Äther treffen, mehrere Tausend Wellen in der denkbar kürzesten Zeit ausgehen, noch dazu bei, ihre Wirkung merklicher zu machen.

Hinsichtlich der Fortpflanzung dieser Wellen ist ferner noch zu bedenken, dafs jedes Teilchen des Stoffes, in welchem eine Welle sich ausbreitet, nicht nur dem nächsten Teilchen, welches in der von dem leuchtenden Punkte aus gezogenen geraden Linie liegt, seine Bewegung mitteilen mufs, sondern notwendig allen übrigen, welche es berühren und sich seiner Bewegung widersetzen. Daher mufs sich um jedes Teilchen eine Welle bilden, deren Mittelpunkt dieses Teilchen ist. Wenn also DCF eine Welle vor-

stellt, welche von dem leuchtenden Punkte A als Centrum ausgegangen ist, so wird das Teilchen B, das zu den von der Kugel DCF umschlossenen gehört, seine die Welle DCF in C berührende besondere Welle KCL in demselben Augenblicke gebildet haben, in welchem die von A ausgesandte Hauptwelle in DCF angelangt ist. Ferner ist klar, dafs die Welle KCL die Welle DCF eben nur in dem Punkte C berührt, d. h. in demjenigen, welcher auf der durch AB gezogenen Geraden liegt. Auf dieselbe Weise bildet jedes andere Teilchen innerhalb der Kugel DCF wie b, b, d, d u. s. w. seine eigene Welle. Jede dieser Wellen kann indessen nur unendlich schwach sein im Vergleich zur Welle DCF, zu deren Bildung alle übrigen mit demjenigen Teile ihrer Oberfläche beitragen, welcher von dem Mittelpunkte A am weitesten entfernt ist.

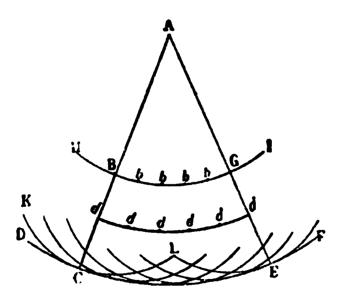


Fig. 18. Die Entstehung einer Hauptwelle aus Teilwellen. Huygens'sche Konstruktion[1]).
(Aus Huygens, Abhandlung über das Licht.)

Man sieht ferner, dafs die Welle DCF bestimmt wird durch die äufserste Grenze der Bewegung, welche von dem Punkte A in einem gewissen Zeitraum ausgegangen ist. Denn jenseits dieser Welle findet keine Bewegung statt, wohl aber in dem von ihr umschlossenen Raume. Man darf nicht etwa meinen, dafs alles dies zu spitzfindig und allzu gesucht sei, denn man wird in der Folge sehen, dafs alle Eigenschaften des Lichtes und alles, was auf seine Zurückwerfung und Brechung Bezug hat, sich hauptsächlich aus dieser Anschauung erklärt.

Um zu den Eigenschaften des Lichtes überzugehen, bemerke ich zuerst, dafs jeder Wellenteil sich in der Weise ausbreiten mufs, dafs seine äufsersten Grenzen immer zwischen den nämlichen, vom leuchtenden Punkte aus gezogenen geraden Linien bleiben. Der Wellenteil BG (Fig. 18), welcher den leuchtenden Punkt A zum Mittelpunkt hat, wird sich also bis zu dem von den Geraden ABC, AGE begrenzten Bogen CE ausbreiten. Obgleich nämlich die Einzelwellen, welche durch die im Raume CAE enthaltenen Teilchen erzeugt werden, auch aufserhalb dieses Raumes

[1]) Siehe auch Wüllners Lehrbuch der Experimentalphysik. Bd. I. § 133.

sich ausbreiten, so treffen sie gleichwohl nirgends sonst, als eben nur in dem Bogen CE im nämlichen Augenblicke zusammen, um eine die Bewegung abgrenzende Welle zu bilden.

Hierin liegt der Grund, warum das Licht, sofern wenigstens seine Strahlen nicht zurückgeworfen oder gebrochen werden, sich nur in geraden Linien fortpflanzt, sodafs es einen jeden Gegenstand nur dann beleuchtet, wenn der Weg von seiner Quelle bis zu diesem Gegenstande längs solcher Linien offen steht. Denn wenn beispielsweise eine Öffnung BG vorhanden wäre, welche durch undurchsichtige Körper BH, GJ begrenzt ist, so würden gemäfs vorstehender Darlegung die von dem Punkte A kommenden Wellen immer durch die Geraden AC und AE begrenzt werden, da diejenigen Teile der Einzelwellen, welche sich über den Raum ACE hinaus ausbreiten, zu schwach sind, um daselbst Licht hervorzubringen.

Nachdem Huygens die Grundzüge seiner Theorie entwickelt hat, erklärt er daraus die Erscheinungen der Reflexion und der Brechung. Er bietet ferner im 5. Kapitel seiner Abhandlung eine meisterhafte Untersuchnng der 1669 von Bartholin entdeckten Doppelbrechung, ohne jedoch die Erscheinung befriedigend erklären zu können, wie er es auch unterläfst, eine Erklärung der Körperfarben und der bei der Brechung eintretenden Farbenzerstreuung zu geben.

Über die Weiterbildnng der Wellentheorie durch Young und Fresnel im Beginne des 19. Jahrhunderts siehe Bd. II d. Grdr. (1. Aufl.) S. 343 u. f.

20. Die Entdeckung des Mariotte'schen oder Boyle'schen Gesetzes. 1679.

Mariottes Abhandlung über die Natur der Luft[1]).

Mariotte, geboren 1620, gestorben 1684 zu Paris und Mitglied der dortigen Akademie der Wissenschaften, fand, dafs das Volumen eines Gases dem darauf wirkenden Drucke umgekehrt proportional ist. Der Engländer Boyle hat dieses Grundgesetz der Aëromechanik schon vor Mariotte entdeckt, doch hat der letztere es selbständig gefunden und klarer ausgesprochen.

Die Luft ist so notwendig zur Erhaltung unseres Lebens und ihre Verbreitung so allgemein, dafs diejenigen, welche sich dem Studium der Natur zuwenden, die Erforschung der verschiedenen Eigenschaften der Luft nicht vernachlässigen dürfen.

Einige Philosophen behaupten, dafs sie nichts anderes sei als die Ausdünstung des Wassers und anderer auf der Erde befindlichen Stoffe. Kinder und Ungebildete lassen sich nur mit Mühe von ihrer Existenz überzeugen. Da ihre Durchsichtigkeit sie unsichtbar macht, reden sie sich leicht ein, dafs sich nichts in einem Gefäfse befindet, in das man nicht Wasser oder einen anderen sichtbaren Körper gefüllt hat.

Noch mehr Schwierigkeiten macht die Annahme, dafs die Luft Gewicht besitzt, und es bedarf vieler Überlegungen und Versuche, um sich davon zu überzeugen.

Der sicherste Beweis für die Schwere der Luft ist der, den man der überraschenden Erscheinung entnimmt, welche in einer 3—4 Fufs langen, an einem Ende geschlossenen und mit Quecksilber gefüllten Glasröhre vor sich geht. Der Versuch ist bekannt genug. Man verschliefst das offene Ende einer solchen Röhre mit dem Finger und taucht sie umgekehrt in ein mit Quecksilber gefülltes Gefäfs. Nimmt man dann den Finger fort, so entleert sich die Röhre nicht völlig, sondern sie bleibt bis zu einer Höhe von etwa 27 1/2 Zoll mit Quecksilber gefüllt. Diese Röhre mit dem Quecksilber nennt man ein Barometer, weil man sich derselben bedient, um den Druck der Luft zu messen.

---

[1]) Nach der im Jahre 1717 zu Leyden erschienenen Ausgabe der Werke Mariottes (1. Bd. S. 149—153) übersetzt von F. Dannemann.

Will man zeigen, dafs das Vorhandensein dieser Quecksilbersäule, sowie die Änderungen, welche ihre Höhe erleidet, von der Gröfse des Druckes herrühren, der auf der Oberfläche des Quecksilbers in dem Gefäfse lastet, so tauche man ein Barometer in hinreichend tiefes und klares Wasser. Man wird dann sehen, dafs eine Wasserhöhe von etwa $3^1/_2$ Fufs das Quecksilber um 3 Zoll höher treiben wird, als es in der Luft stand, während eine Wassersäule von 14 Zoll es nur um einen Zoll höher emportreibt. Offenbar rührt dies daher, dafs das spezifische Gewicht des Quecksilbers 14 mal gröfser ist als dasjenige des Wassers, wie man mit Hilfe einer Wage nachweisen kann. Dem Druck einer $3^1/_2$ Fufs hohen Wassersäule hält ein Quecksilberdruck von 3 Zoll das Gleichgewicht, sodafs infolgedessen ein Emporsteigen des Quecksilbers um diese Höhe eintreten mufs. Da man nun durch fortgesetzte Versuche erkennt, dafs die Quecksilbersäule des Barometers an einem tief gelegenen Orte zunimmt, an hoch gelegenen Stellen dagegen sich im Vergleich zu ihrer mittleren Höhe bedeutend verkürzt, so zieht man hieraus leicht denselben Schlufs, den man in Anbetracht des Wassers zog. Dafs nämlich, wenn das Quecksilber 28 Zoll hoch steht, daraus hervorgeht, dafs diese Quecksilbersäule gerade so viel wiegt, wie eine Luftsäule von gleicher Grundfläche, welche sich von der Oberfläche des in dem Gefäfse befindlichen Quecksilbers bis zur Grenze der Atmosphäre erstreckt.

Eine zweite Eigenschaft der Luft besteht darin, dafs sie aufserordentlich verdichtet und ausgedehnt werden kann und dabei immerfort einen Druck ausübt, wodurch sie die Körper, welche sie einschliefsen, zurückstöfst oder zurückzustofsen strebt. Die meisten anderen Spannkräfte nehmen allmählich ab, man bemerkt aber nie, dafs dies bezüglich dieser Spannung der Luft der Fall ist. Es ist mir von verschiedenen Seiten bestätigt worden, dafs länger als ein Jahr geladene Windbüchsen dasselbe leisteten, als wenn sie soeben geladen wären.

Man darf nicht glauben, dafs die Luft nahe der Erdoberfläche ihre natürliche Ausdehnung besitze. Da nämlich die unteren Schichten von der Last der ganzen Atmosphäre zusammengedrückt werden, so müssen sie viel dichter sein als die oberen. Dieser Unterschied in der Dichte der Luft läfst sich etwa begreiflich machen, indem man sich viele übereinander gehäufte Schwämme vorstellt. Es leuchtet nämlich ein, dafs diejenigen, welche sich ganz oben befinden, die ihnen von Natur zukommende Ausdehnung

besitzen werden. Die unmittelbar darunter liegenden werden etwas weniger ausgedehnt, die alleruntersten endlich sehr zusammengeprefst und verdichtet sein.'

Die erste Frage, welche man in dieser Hinsicht stellen kann, ist die, ob die Luft genau im Verhältnis zu dem Drucke verdichtet wird, unter dem sie sich befindet, oder ob die Zunahme ihrer Dichtigkeit von anderen Gesetzen abhängt. Um zu erkennen, ob ersteres der Fall ist, habe ich folgende Überlegungen angestellt. Vorausgesetzt, dafs die Luft, wie der Versuch zeigt, dichter ist, wenn sie von einem gröfseren Gewicht belastet wird, so folgt daraus notwendig, dafs, wenn die ganze Luftmasse leichter würde, ihre unterste Schicht mehr Raum einnähme; würde die Atmosphäre dagegen ein gröfseres Gewicht besitzen, so würde sie in der Nähe des Erdbodens noch dichter sein, als es augenblicklich der Fall ist. Man mufs also schliefsen, dafs die Dichtigkeit, welche die Luft nahe der Erdoberfläche besitzt, in einem bestimmten Verhältnis zu dem Gewicht der oberen einen Druck ausübenden Luftschichten steht, und dafs sie in diesem Zustande vermöge ihres Ausdehnungsbestrebens dem gesamten Luftdruck, der auf ihr lastet, genau das Gleichgewicht hält.

Wenn man daher in einem Barometer Quecksilber und Luft einschliefst und den Torricellischen Versuch macht, so wird das Quecksilber in der Röhre nicht seine Höhe beibehalten. Die Luft nämlich, welche vor dem Versuche darin eingeschlossen wurde, hält vermöge ihrer Spannung dem Drucke der gesamten Atmosphäre das Gleichgewicht, d. h. einer Luftsäule von gleichem Durchmesser, die sich von der Oberfläche des Quecksilbers im Gefäfse bis zur Grenze der Atmosphäre erstreckt. Da folglich das Quecksilber keinen Widerstand mehr findet, dem es das Gleichgewicht halten könnte, so wird es herabsinken. Dieses Herabsinken wird aber kein völliges sein. Indem das Quecksilber nämlich fällt, dehnt die im Innern der Röhre befindliche Luft sich aus. Infolgedessen ist ihre Spannung nicht mehr imstande, dem Drucke der äufseren Atmosphäre das Gleichgewicht zu halten. Ein Teil des Quecksilbers bleibt daher in der Röhre; und zwar wird die Höhe der Quecksilbersäule von der Dichte der eingeschlossenen Luft abhängen. Dieser Dichte entspricht nämlich eine Spannung, die nur einem Teile des Atmosphärendrucks gleichkommt. Das Quecksilber, welches in der Röhre schweben bleibt, hebt den Rest des Luftdrucks auf, sodafs sich ein Gleichgewichtszustand bildet zwischen dem Drucke der gesamten Luftsäule einerseits und dem Drucke der

Quecksilbersäule vermehrt um die Spannung der eingeschlossenen Luft andererseits. Wenn also die Luft sich im Verhältnis des Druckes, der auf ihr lastet, verdichtet, so mufs notwendig bei einem Versuche, bei welchem das Quecksilber in der Röhre die Höhe von 14 Zoll innehält, die eingeschlossene Luft die doppelte Ausdehnung besitzen wie vor dem Versuch vorausgesetzt, dafs zur selben Zeit ein Barometer ohne Luft eine Quecksilberhöhe von 28 Zoll anzeigt.

Um zu erkennen, ob es sich so verhält, machte ich die Probe. Ich bediente mich einer Röhre von 40 Zoll Länge und füllte 27 1/2 Zoll Quecksilber hinein, sodafs sich 12 1/2 Zoll Luft darin befanden. Tauchte ich dieselbe dann einen Zoll tief in das Quecksilbergefäfs ein, so betrug die Höhe der Säule 14 Zoll und 25 Zoll waren mit der auf den doppelten Raum ausgedehnten Luft gefüllt. Ich hatte mich also in meiner Erwartung nicht getäuscht. Nachdem nämlich die Röhre umgedreht und in das Quecksilber des Gefäfses getaucht war, fiel das Quecksilber in derselben und blieb nach einigen Schwankungen in einer Höhe von 14 Zoll stehen. Die eingeschlossene Luft, welche jetzt 25 Zoll einnahm, hatte also ihr Volumen verdoppelt, da sich vor dem Versuche nur 12 1/2 Zoll Luft in der Röhre befanden.

Ich machte noch ein zweites Experiment, bei dem ich 24 Zoll Luft über Quecksilber absperrte. Letzteres sank dann bis auf 7 Zoll herab, ganz entsprechend unserer Voraussetzung. Da nämlich 7 Zoll Quecksilber dem vierten Teil des Atmosphärendruckes das Gleichgewicht halten, so kommen die übrigen drei Viertel der Spannkraft der eingeschlossenen Luft gleich. Das Volumen mufs dann 32 Zoll betragen, wenn es zum ursprünglichen Volumen von 24 Zoll in demselben Verhältnis stehen soll, wie der Gesamtdruck der atmosphärischen Luft zu drei Vierteln desselben, und dies wurde durch die Probe bestätigt. Ich veranstaltete noch einige Versuche dieser Art, indem ich bald mehr bald weniger Luft in derselben Röhre oder in Röhren verschiedener Gröfse einschlofs. Immer fand ich, dafs das Volumen der Luft nach dem Versuche zu dem ursprünglichen Volumen, das sie vorher über dem Quecksilber einnahm, in demselben Verhältnis stand, wie der gesamte Atmosphärendruck zu demselben vermindert um die Höhe der Quecksilbersäule, welche in der Röhre hängen blieb. Daraus geht zur Genüge hervor, dafs man es als eine unabänderliche Regel oder als ein Naturgesetz betrachten mufs, dafs die Luft entsprechend dem auf ihr lastenden Drucke, der verdichtet wird.

Will man dies durch weitere Versuche beweisen, so nehme man eine gebogene Röhre, deren Schenkel parallel sind. Der eine derselben sei etwa 8 Fufs, der andere 12 Zoll lang. Der längere Schenkel sei am oberen Ende offen, der andere vollständig geschlossen. Man beginne damit, ein wenig Quecksilber einzugiefsen, um den unteren Teil der Röhre, welcher die beiden Schenkel verbindet, zu füllen. Dabei mufs man darauf achten, dafs das Quecksilber in dem einen Schenkel nicht höher als in dem anderen zu stehen kommt, damit man sicher geht, dafs die eingeschlossene Luft nicht dichter oder ausgedehnter als die Luft der Atmosphäre ist.

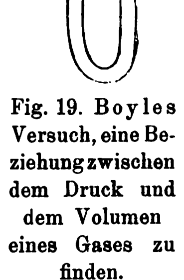


Fig. 19. Boyles Versuch, eine Beziehung zwischen dem Druck und dem Volumen eines Gases zu finden.

Darauf giefse man allmählich Quecksilber in die Röhre, wobei man dafür Sorge zu tragen hat, dafs durch den Anprall keine neue Luft zu der eingeschlossenen hinzugelangt. Man wird dann bemerken, dafs, wenn das Quecksilber auf 4 Zoll in dem kürzeren Schenkel gestiegen ist, dasselbe in dem anderen Schenkel 14 Zoll höher steht, das heifst 18 Zoll über der Verbindungsstelle beider Schenkel. Dies entspricht dem Gesetze, dafs die Luft im Verhältnis zu dem Drucke, der auf ihr ruht, zusammengeprefst wird. Die eingeschlossene Luft steht dann nämlich unter dem Drucke der Atmosphäre, der einer Quecksilbersäule von 28 Zoll Höhe entspricht, vermehrt um den Druck von 14 Zoll Quecksilber. Der Gesamtdruck von 42 Zoll verhält sich zu dem Druck von 28 Zoll, unter dem die Luft stand, als sie 12 Zoll in dem kleineren Schenkel einnahm, wie dieses Volumen von 12 Zoll zu dem neuen Volumen von 8 Zoll [1]).

Giefst man von neuem Quecksilber ein, bis dasselbe in dem kleineren Schenkel auf 6 Zoll gestiegen ist, sodafs die Luft in demselben nur noch 6 Zoll einnimmt, so wird das Niveau des Quecksilbers in dem längeren Schenkel 28 Zoll höher stehen als in dem kürzeren, genau dem Gesetze entsprechend. Die eingeschlossene Luft steht dann nämlich unter dem Drucke von 28 Zoll

[1]) Der eingeschlossene Luftcylinder hat nach dem Eingiefsen des Quecksilbers nur noch eine Länge von 8 Zoll, da dasselbe in den 12 Zoll messenden Schenkel ja um 4 Zoll eingedrungen ist.

Quecksilber vermehrt um den Druck der Atmosphäre, der gleichfalls 28 Zoll beträgt. Die Summe 56 ist das Doppelte von 28, wie das erste Volumen 12 das Doppelte der gebliebenen 6 Zoll Luft ist. Fährt man mit dem Eingiefsen des Quecksilbers in den gröfseren Schenkel fort, so wird dasselbe in dem kleineren 8 Zoll Höhe erreichen, wenn es in dem längeren 56 Zoll darüber steht, was wieder dasselbe Verhältnis ergiebt.

Will man den Versuch noch weiter treiben, so fahre man mit dem Eingiefsen von Quecksilber fort, bis die Luft in dem kleineren Schenkel nur noch 3 Zoll einnimmt. Man wird dann bemerken, dafs das Quecksilber in dem längeren Schenkel 84 Zoll höher steht als in dem kürzeren, was mit den 28 Zoll Atmosphärendruck 112 Zoll ergiebt. Das ist das vierfache von 28, wie auch das anfängliche Volumen von 12 Zoll das vierfache des zuletzt beobachteten von 3 Zoll ist.

Sollen diese Versuche gut gelingen, so mufs der kürzere Schenkel überall gleich weit sein. Was dagegen den längeren Schenkel anbetrifft, so ist es nicht erforderlich, dafs seine Weite auf der ganzen Länge genau dieselbe sei[1]).

---

21. Swammerdam zergliedert die Insekten.

J. Swammerdam, Abhandlung über die Bienen 1673[2]).

Jan Swammerdam wurde 1637 in der Nähe von Amsterdam geboren, studierte in Leyden Medizin, praktizierte aber nicht, sondern widmete sich ausschliefslich der Zergliederung und Beobachtung niederer Tiere. Der Sorgfalt, Ausdauer und Genauigkeit, die ihn bei seinen mustergültigen Untersuchungen leiteten, hat man stets Anerkennung, ja Bewunderung gezollt. Swammerdam starb 1685

[1]) Da ja nach dem hydrostatischen Paradoxon der Bodendruck nicht von der Form des Gefäfses abhängt, sondern dem Abstand der gedrückten Fläche von dem Spiegel der Flüssigkeit proportional ist.

[2]) Jan Swammerdam, Bibel der Natur, worinnen die Insekten in gewisse Klassen verteilt, sorgfältig beschrieben, zergliedert in sauberen Kupferstichen dargestellt, mit vielen Anmerkungen über die Seltenheiten der Natur erläutert und zum Beweise der Allmacht und Weisheit des Schöpfers angewendet werden. Aus dem Holländischen übersetzt. Leipzig, in Johann Friedrich Gleditschens Buchhandlung 1752.

in ärmlichen Verhältnissen. Die Bibel der Natur, welche eine Zusammenfassung seiner Abhandlungen darstellt, wurde erst 1735 von Boerhaave herausgegeben und 1752 ins Deutsche übersetzt. Hier folgt die Abhandlung über die Bienen, welche gekürzt und hinsichtlich der Schreib- und Ausdrucksweise einer Überarbeitung unterzogen ist. Dem Leser sei empfohlen, Swammerdams Angaben während der Lektüre, soweit wie möglich, am Objekt nachzuprüfen. Näheres über Swammerdam siehe Bd. II d. Grdr. (1. Aufl.) Seite 224 u. f.

Obgleich die Herrlichkeit des unvergänglichen Gottes, sein unsichtbares Wesen, seine ewige Kraft und Weisheit aus allen Geschöpfen erkannt werden, so scheint dennoch das eine Geschöpf den unsichtbaren Gott in einem viel helleren Licht vor Augen zu stellen als das andere. Dieser Satz wird aus nachstehender Abhandlung deutlich erhellen, bei deren Ausarbeitung es dem allweisen und gütigen Gott in Gnaden gefallen hat, die von mir angewandte unverdrossene Mühe mit Segen zu krönen.

Als ich im August einen Korb mit Bienen, die geschwärmt hatten, öffnete, fand ich in demselben einige tausend gemeine Bienen, einige hundert Brutbienen und einen König. Ich rede nach den gemeinen Begriffen und Ausdrücken. Denn in der That hat es von Anfang der Welt her weder Bienenkönige noch Brutbienen gegeben. Es beruht auf einem grofsen Irrtum, dafs man den Tieren dergleichen Namen beigelegt hat. Ich werde überall in nachfolgendem Werke das Tier, welches man den König der Bienen zu nennen pflegt, Weibchen, die vermeintliche Brutbiene Männchen[1]) und endlich die gemeine Biene Arbeitsbiene nennen. Von solchem Verfahren werde ich an seinem Orte die Ursachen angeben. Ich werde es mit unwidersprechlichen Beweisen rechtfertigen.

Weiter fand ich dreierlei Kämmerchen oder Zellen. In einigen hundert dieser Zellen waren die Männchen gewachsen, einige wenige enthielten die Weibchen, die meisten aber, deren Zahl sich gern auf einige tausend belief, hatten den gemeinen Bienen zum Aufenthalt gedient, die darin ausgebrütet, ernährt und in eine andere Gestalt verwandelt worden waren. Die Häuschen der Männchen und Weibchen waren jetzt gänzlich leer, wie auch diejenigen der übrigen Bienen zum gröfsten Teil. Es waren nämlich von den letzteren eine Anzahl mit Wachs verklebt. Als ich sie

1) **Drohne.**

mit der Spitze einer Nadel aufstach oder entsiegelte, fand ich in einigen Bienenwürmer, in anderen Püppchen. Wieder in anderen Zellen fand ich Honig: andere waren offen und zum Teil mit Eiern, zum Teil auch mit Würmern besetzt.

Werden Häuschen leer, so legt das Weibchen seine Eier hinein. Ich habe schon zu Anfang März in den Körben junge Brut wahrgenommen. Man lasse sich dadurch nicht befremden, es läfst sich leicht begreifen, wie es zugeht. Anfang August sah ich nämlich einige tausend Eier in dem Weibchen. Es ist also geschickt, das ganze Jahr hindurch sein Geschlecht zu vermehren.

Ich habe vorhin vergessen zu bemerken, dafs ich einige Häuschen mit einem gewissen Stoff von verschiedener Farbe angefüllt getroffen habe. Seiner Beschaffenheit nach war es eine krümelige Substanz. Einige Häuschen, welche dieselbe enthielten, waren versiegelt, andere waren zur Hälfte gefüllt. Die Imker nennen diese Substanz Bienenbrot. Ich erkannte, dafs sie mit derjenigen, welche die Bienen am fünften Gliede ihres letzten Beinpaares immer in die Körbe eintragen und die von jedermann für Wachs gehalten wird, ungemein übereinstimmt. Diese Bemerkung veranlafste mich, besagte Substanz, mit der sich die Bienen behängen, mit dem Bienenbrot zu vergleichen. Ich fand, dafs beide sich nicht im geringsten unterscheiden[1]. Hieraus entstand bei mir ein grofser Zweifel, ob die Bienen das Wachs unmittelbar vom Felde haben und eintragen. Ich kann es so wenig vom Wachs als vom Honig glauben und halte vielmehr dafür, sie kochen es in ihrem Magen zu einer süfseren und festeren Flüssigkeit aus[2].

Ich habe auch das Bienenbrot mit Honig zu mengen gesucht, um zu sehen, ob ich daraus Wachs machen könnte. Doch der Ausgang lehrte mich, dafs dies nicht der Fall sei.

Nimmt man ein Glas mit reinem Wasser, wirft das Bienenbrot hinein und schüttelt oder schwenkt es ein wenig um, so zerfährt es zu einem sehr zarten Staub. Von diesem Staube nun streicht man etwas auf ein dünnes Stückchen Glas und betrachtet dies durch ein Vergröfserungsglas. Alsdann wird man gewahr, dafs das Bienenbrot aus nichts anderem als aus runden Körperchen besteht.

1) Das Bienenbrot besteht aus Pollenkörnern, die vermittels des bürstenartigen ersten Fufsgliedes der Hinterbeine abgestreift und als sogenannte Höschen eingetragen werden.

2) Der Honig ist, wie Swammerdam vermutet, ein im Magen erzeugtes Umwandlungsprodukt der Blütensäfte, während das Wachs zwischen den Hinterleibsringen aus dem Körper abgesondert, sozusagen ausgeschwitzt wird.

Die Zellen der Bienen sind sechsseitig. Die oberen Winkel der Seiten sind gleich, aber die unteren sind ungleich. Dies rührt daher: Jedes Häuschen steht auf drei anderen und da der Grund der Häuschen niedergeht, so bilden je zwei Seiten einen Winkel, der schräg abwärts geht. Der Grund der Häuschen besteht aus drei Abschnitten; durchbohrt man jeden derselben mit einer Nadel, so kommt jedes der drei entstandenen Löcher in einem anderen Häuschen auf der anderen Seite heraus, ein handgreiflicher Beweis, dafs jedes Häuschen auf drei anderen gegründet ist. Alle hängen mit ihrem Grunde aneinander, so dicht und untrennbar, dafs sie mehr ein einziges als ein aus vielen Stücken zusammengesetztes Gewebe ausmachen. Keines läfst sich anders als durch Brechen oder Schneiden von den übrigen absondern. Diejenigen irren also sehr, die sich einbilden oder vorgeben, jede Biene baue ihr eigenes Haus.

Wie aber bauen die Bienen? Durch welche Kunst, Wissenschaft und Werkzeuge verfertigen sie ein so bewunderungswürdiges und regelmäfsiges Werk? Wie das zugeht, weifs nur derjenige, der im Lichte wohnt. Indessen halte ich es doch nicht für ganz unmöglich, mit der Zeit dahinter zu kommen. Ich getraute mir, es selbst zu entdecken, sollte ich nur ein halbes Jahr Gelegenheit haben, Bienen zu halten.

Bevor ich nun weiter gehe, will ich das Männchen, das Weibchen und die Arbeitsbiene beschreiben und miteinander vergleichen[1]).

Die Augen der Arbeitsbienen sind oval. So sehen sie auch beim Männchen aus, sind aber wohl um zwei Drittel oder noch einmal so grofs wie die Augen jener. Die Augen des Weibchens sind wenig gröfser als die der Arbeitsbiene. Die Arbeitsbiene besitzt oben am Kopfe oberhalb der Augen viele Härchen und noch drei besonders kleine Augen. Beim Männchen finden sich diese Härchen nicht, denn ihre Augen erstrecken sich bis an den Ort, den die Haare bei der Arbeitsbiene einnehmen, und berühren einander. Daher kommt es, dafs die drei besonderen Augen der Männchen viel tiefer stehen als es bei den Arbeitsbienen der Fall ist. Das Weibchen stimmt mit der Arbeiterin darin überein, dafs seine Augen gleichfalls durch einen Zwischenraum getrennt sind und die drei kleinen Augen sich in derselben Höhe zeigen wie dort.

---

[1]) Siehe die in vielen Lehrbüchern der Zoologie nebeneinander gestellten Abbildungen der drei Formen, sowie die XXVII. Tafel von Leuckart und Nitsche. Kassel, Verlag von Theodor Fischer.

Alle Bienen haben zwei Fühler, doch sind dieselben verschieden gegliedert. Die Fühler der Arbeiterin und des Weibchens haben nämlich 15 Glieder, die des Männchens aber nur 11. Das erste Fühlerglied, welches sich an den Kopf ansetzt, ist bei der Arbeiterin länglich, etwas kürzer beim Männchen und wieder etwas länger beim Weibchen.

Die Arbeiterin und das Weibchen besitzen über den Frefswerkzeugen eine deutliche hornige Lippe, beim Männchen fällt dieselbe nicht so sehr in die Augen. Die Arbeitsbiene hat lange Mundteile, diejenigen der Männchen sind sehr kurz, die des Weibchens von mittlerer Länge.

Alle drei Formen haben vier Flügel. Beim Männchen sind sie jedoch viel länger und breiter als bei der Arbeiterin. Die Flügel des Weibchens, obschon ebensolang wie die der Arbeitsbiene, kommen einem doch kürzer vor. Das rührt von der Länge seines Hinterleibes her, der geräumiger sein mufs, weil er die Eier enthalten soll.

Alle Bienen besitzen 6 Beine und jedes derselben 9 Glieder. Bei der Arbeitsbiene sind die letzten Beine viel breiter und gröfser als die vordersten. Am fünften und gröfsten Gliede des letzten Beinpaares[1]) tragen die Arbeitsbienen das sogenannte Bienenbrot.

An jedem Fufse finden sich vier Krallen, zwei grofse und zwei kleine; letztere sind den ersteren eingefügt. Zwischen den Krallen sitzt eine weiche Masse, die beim Zerdrücken eine durchsichtige Flüssigkeit absondert.

Der Stachel fehlt dem Männchen gänzlich. Die Arbeiterin ist fast mal so klein wie das Männchen, das Weibchen bedeutend gröfser als erstere, aber kleiner als das Männchen, doch länger und mehr spitz zulaufend.

Die Farbe der Arbeitsbiene fällt ins dunkel Goldgelbe, das Männchen ist etwas grauer, der Bauch beim Weibchen etwas heller als bei den übrigen. Fast alle bisher genannten Teile der Bienen sind mit Haaren besetzt.

Die Arbeiterin ist weder männlich noch weiblich, indessen hat sie in ihrer Art und ihrem Leibesbau mehr Weibliches als Männliches an sich.

Soviel über die äufseren Organe der Biene. Die inneren sind teils allen drei Formen gemeinsam, teils einer derselben eigen. Von ersteren finden sich folgende: Im Kopf das Gehirn und das kleine

[1]) Es ist dies das erste Fufsglied. Dasselbe wird auch wohl die Bürste genannt, weil es steif behaart ist und zum Abbürsten des Blütenstaubes dient.

Gehirn, ferner der Anfang des Markes, das durch den ganzen Leib von dem einen Ende bis zum anderen hindurchgeht [1]), endlich die knotigen Verdickungen desselben und die Nerven, welche teils aus dem Marke selbst, teils aus dessen Knoten hervorsprieſsen. Ferner stimmt der innere Bau des Auges bei allen drei Formen der Biene überein. Sie besitzen alle die umgekehrten Pyramiden, die netzförmigen Häutchen und die Nervenstränge, welche sich an Stelle unseres Sehnerven befinden [2]).

In der Brust erblickt man durchgängig die Muskeln der Flügel und der Beine, sowie die Luftröhren und Fett, woran auch im Kopfe kein Mangel ist. Im Hinterleib findet sich bei allen Bienen die Speiseröhre, welche sich durch die Brust bis dahin erstreckt, der Magen, die dünnen und dicken Gedärme, sowie besondere zum Darm gehörende Drüsen. Von alle diesem sind Abrisse und Beschreibung in der Abhandlung über die Bienen mitgeteilt worden. Ferner sieht man die Atmungswerkzeuge mit ihren Bläschen und Luftröhren vornehmlich im Hinterleib. Das Herz liegt gleichfalls gröſstenteils im Hinterleib. Endlich findet sich dort noch eine Menge Fett, sowie die Muskeln, welche unter den Ringen liegen und sie bewegen.

Sechs Tage nach der Schwärmzeit legt das ausgeflogene Weibchen seine Eier in die neu gebauten Häuschen. In jedes setzt es ein Ei, und zwar so geschwind, daſs es nicht darauf achtet, ob das Häuschen erst angefangen oder schon einige Zeit fertig ist. Wenn nur der dreieckige schief niedergehende Grund vorhanden ist, so legt das Weibchen ohne Verzug sein Ei darauf und alsdann bauen die dienstbaren Bienen, die dem Weibchen beständig und überall, wo es hingeht, folgen, die Wachszellen völlig aus. Das rührt von einer Sorgfalt, Liebe und Beflissenheit her, die der höchste Schöpfer ihnen zu ihrer Brut eingepflanzt hat. Sie verlieren auch diesen Trieb nicht, selbst wenn das Weibchen ihnen genommen wird.

Ich werde an anderer Stelle darthun, daſs das Zusammenleben der Bienen auf nichts anderes abzielt als auf die Fortpflanzung und Auferziehung, und daſs im übrigen bei ihnen weder von einer Regierung, noch von bürgerlichen Einrichtungen, Zucht und Tugenden das Geringste zu bemerken ist. Alle Handlungen, die man an ihnen wahrnimmt, sind für sie so unvermeidlich wie

[1]) Siehe Leuckart und Nitsche, Tafel XXVII, Figur 4 und 23.

[2]) Über den Bau des Insektenauges siehe Johannes Müller in Abschnitt 54 B dieses Bandes.

die Folge von Winter und Sommer. Nicht nur die Bienen helfen ihren Jungen in die Höhe, sondern auch Hornissen, Wespen, Hummeln, Ameisen u. s. w. Diese Tiere würden unfehlbar, wie die anderen Insekten, bald nach Ablage ihrer Eier sterben, wenn ihnen nicht die Sorge für die Erziehung ihrer Jungen anbefohlen wäre, die sie gleichsam nötigt, etwas länger am Leben zu bleiben.

Seht, so überaus wunderbar waltet Gott in diesen winzigen Geschöpfen, dafs ich mir getraue zu behaupten, Gottes unaussprechliche Wunder seien in dem Geschmeifse versiegelt, und man könne diese Siegel nicht anders erbrechen, als wenn man das Buch der Natur, die Bibel der natürlichen Gottesgelahrtheit, in welcher Gottes Unsichtbarkeit sichtbar wird, fleifsig durchblättert. Schatzkammern von unaussprechlichen Wundern schliefsen sich alsdann auf, und der verborgene Schöpfer wird in diesen kleinen Tierchen so kenntlich, dafs ich die an ihnen gemachten Entdeckungen für die allerstärksten und unwidersprechlichsten Beweise seines göttlichen Wesens und seiner Vorsehung gegen alle seine Verleugner halte. Die Sätze dergleichen Leute vom Ursprunge dieser Tierchen sind eitle und stroherne Mutmafsungen. Sie leiten sie von einem zufälligen Zusammenflufs der Bestandteile ab, obgleich die Glieder der Insekten künstlicher ausgearbeitet und zusammengesetzt sind als die der gröfsten Geschöpfe.

Die Eier, welche das Weibchen in jede Zelle absetzt, sind länglich, ein wenig gekrümmt, an der einen Seite etwas dicker als an der anderen, hell und glänzend. Sie sind mit einer wässerigen Substanz gefüllt und am dünnsten Ende auf das Wachs geklebt. Durch das Vergröfserungsglas betrachtet, erscheint das Ei etwas runzlich. Einige Tage nach dem Ablegen bricht das Tier durch die Haut des Eies hindurch und kriecht in Gestalt eines Würmchens, das ungemein zart und ohne Füfse ist, hervor. Man erkennt sogleich die Einschnitte oder Kerben an demselben. Von der Ablage bis zum Aufbrechen kümmern sich die Bienen nicht sonderlich um die Eier, jedenfalls brüten sie dieselben nicht aus, wie gewöhnlich angegeben wird. Das Ausbrüten der Eier geschieht durch nichts anderes als durch die vereinigte Wärme aller im Korbe befindlichen Bienen. In demselben ist es nämlich wunderbar warm, selbst im Winter, sodafs auch der Honig alsdann weder gerinnt noch körnig wird. Durch diese wechselseitige Erwärmung erhalten die Bienen auch sich selbst wider die Kälte der Jahreszeit. Meines Wissens thut keine andere Insektenart dasselbe. Selbst Hornissen, Wespen und Hummeln werden von der

Kälte des Winters gelähmt, sodafs sie die ganze Zeit über sich nicht rühren können, auch nichts geniefsen, noch Unrat auswerfen.

Ist das Bienenwürmchen nun auf gedachte Weise aus seinem Ei gekommen und hat es ein zartes Häutchen abgelegt, so mufs es, wie schon vorher erwähnt, gefüttert werden. Da es nun aber von seiner Stelle, die ihm in seinem Häuschen gleich anfangs angewiesen worden, nicht fortweicht, so mufs jemand da sein, der es füttert. Diese mühsame Besorgung nun nehmen die Arbeiterinnen auf sich. Sie bringen die junge Brut in die Höhe, sodafs aus einem Wurme von der Gröfse einer Nadelspitze zuerst ein grofser Wurm, dann ein Püppchen und endlich eine vollkommene Biene wird. Sie bereiten ihren Würmchen mit vieler Mühe und Sorgfalt täglich die Kost, wie die Vögel ihren Jungen. Doch ist es kein Honig, womit die Bienen ihre Brut füttern. Es ist eine ganz andere besondere Substanz, weifslich wie gewöhnliches Eiweifs, das zu erhärten beginnt. Woher die Bienen dieses Futter haben und ob es Honig sei, den sie wieder ausspeien, nachdem er in ihrem Magen verwandelt worden, ist mir zur Zeit noch ungewifs [1].

Sind die Bienenwürmer nun gröfser geworden, so füllen sie ihre Zellen gänzlich aus und krümmen sich zusammen. Nimmt man einen Wurm um diese Zeit aus seinem Häuschen heraus, so

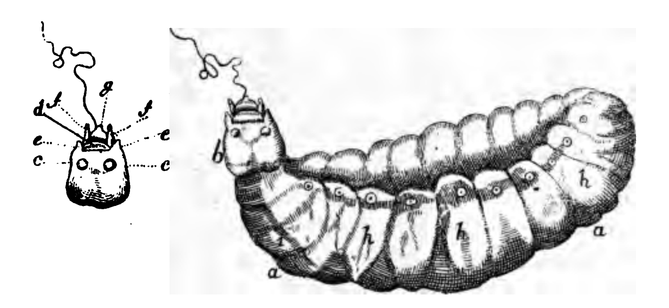


Fig. 20. Die Larve der Biene; Kopf und ganzes Tier.
(Swammerdam, Bibel der Natur. Taf. XXIII, Fig. 14.)

bemerkt man auf dem Grunde desselben eine gelbliche, dicke Substanz unter ihm liegen; es ist sein Unrat. Während der Wurm an Gröfse zunimmt, häutet er sich. Ich zweifle nicht daran, dafs er dies mehrere Male thut, wie alle anderen Insekten; wie oft es aber geschieht, kann ich nicht sagen.

[1]) Die junge Brut wird mit einem weifslichen Gemisch von Honig, Blütenstaub und Wasser ernährt, das im Magen der Biene zubereitet wird.

Untersucht man nun den Bienenwurm etwas genauer und betrachtet ihn durch ein Vergröfserungsglas, so findet man, dafs er aus 14 Ringen, den Kopf eingerechnet, besteht. Am Kopfe b sind zu merken die Augen c, die Lippe d, zwei Teilchen ee, die später zu Fühlern werden, und zwei Teilchen ff unter jenen, die gleichsam gegliedert zu sein scheinen. Aus ihnen wachsen mit der Zeit die Frefswerkzeuge hervor. Zwischen beiden Teilchen ff und folglich unter der Lippe d ist noch ein anderes hervorragendes Organ g anzumerken, das einer Zunge gleicht und später auch wirklich dazu wird. Darüber zeigt sich noch etwas wie ein kleines Wärzchen; der Wurm sondert durch die Öffnung desselben sein Gespinnst aus, nachdem er genug gefressen hat und im Begriff ist, die Gestalt des Püppchens anzunehmen.

Ich gehe nun zur Zergliederung des Wurmes über. Das beste mir bekannte Verfahren besteht darin, dafs man die Tiere in Spiritus tötet und sie dann unverzüglich zergliedert oder sie in farbigen Flüssigkeiten schwarz, rot u. s. w. werden läfst. Auf diese Weise bekommt man Teile zu Gesicht, die sonst nie oder nicht deutlich genug hervortreten. Denn da der Wurm ganz farblos ist und seine Teile sich folglich nicht unterscheiden lassen, so mufs man zu besagten Kunstgriffen seine Zuflucht nehmen.

Öffnet man nun den Wurm auf der Rückenseite, so quillt einem zuerst eine Flüssigkeit entgegen, die aus den verletzten Adern und dem Herzen kommt. Sie ist das wahre Blut der Insekten. Unter der Haut trifft man die Muskeln, welche die Ringe des Leibes bewegen; darauf kommt das Fett zum Vorschein und in demselben, mitten auf dem Rücken, das Herz als eine lange den ganzen Rücken bis in den Kopf durchziehende und Gefäfse nach allen Richtungen aussendende Röhre. Im weiteren Verlaufe der Zergliederung erblickt man sogleich unter dem Herzen den mit unzählig vielen Luftröhren umflochtenen Magen (siehe Fig. 21). Derselbe ist fleischig und mit einer hochgelben Substanz gefüllt. Hinten am Magen zeigen sich vier Gefäfschen (siehe Fig. 21, g), die vermittelst des Fettes und der Luftröhren befestigt sind. Sie sind sehr verschlungen; was sie eigentlich sind und wozu sie dienen, ist schwer zu erraten [1]. Ich habe jedesmal nach langer unverdrossener Mühe gefunden, dafs diese Gefäfse am Ende geschlossen oder blind sind.

---

[1] Es sind dies die Malpighischen Gefäfse, die später in weit gröfserer Zahl auftreten und für Harn absondernde Organe gelten, während ihnen früher wohl die Funktion der Leber, also eine Art Gallenbereitung, zugeschrieben wurde.

wie die Blinddärme der Henne. Das habe ich auf folgende Weise entdeckt. Ich faſste den Darm oder das Ende des Magens, wo die Gefäſschen hervorkommen, mit einer kleinen Zange; dann zog ich sie ganz behutsam aus dem Fett, den Häutchen und Luftröhren, welche sie umweben, heraus. Anders lassen sie sich schwer präparieren.

Das Rückengefäſs habe ich seiner Zartheit wegen nicht verfolgen und untersuchen können.

Auf jeder Seite des Bienenwurms befinden sich 10 Atmungsöffnungen; insgesamt also 20. Sämtliche Luftröhren, welche von

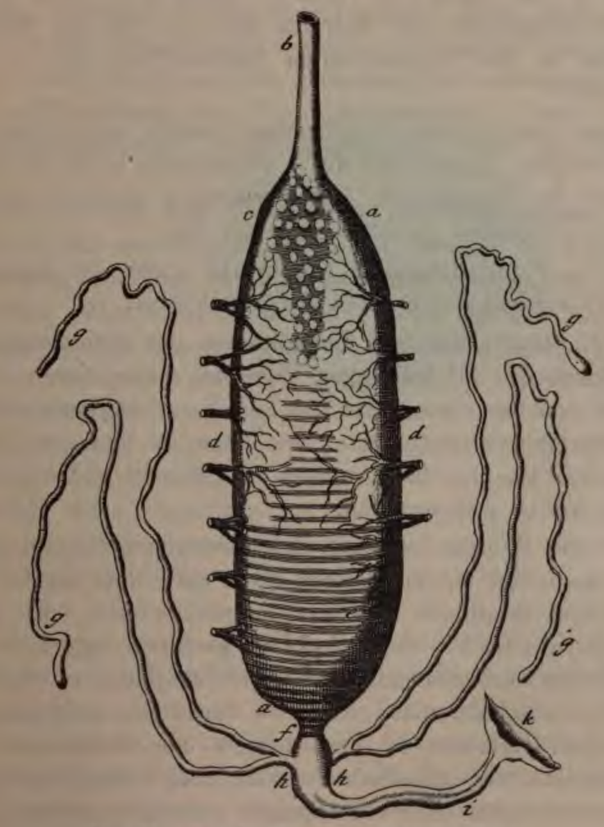


Fig. 21. Der Darmkanal der Bienenlarve.
(Swammerdam, Bibel der Natur. Taf. XXIV, Fig. 6)

diesen Öffnungen in den Körper geben, stehen beim Bienenwurme in Verbindung. Dies geschieht vermittelst einer Röhre, die von der einen Öffnung zur nächsten, von dieser zur dritten und so fort den ganzen Körper durchzieht. Der Bau dieser Luftröhren ist wunderbar, ja sehr

wunderbar; sie bestehen insgesamt aus dicht neben einander befindlichen Ringen, welche durch sehr dünne Häutchen mit einander verbunden sind. Die Luftröhren stehen immer offen, wie bei uns Menschen und den höheren Tieren die Lufröhren besonders oben, wo sich die Knorpelringe befinden, allezeit offen stehen. Auch ist bezüglich der Luftröhren noch zu bemerken, dafs sie alle Teile des Körpers, selbst das Gehirn und das Auge, durchsetzen, wie ich noch näher bei der Zergliederung dieses unergründlichen Kunst- und Meisterstückes des grofsen Baumeisters zeigen werde.

Die 6. Abbildung der XXIV. Kupfertafel (siehe Fig. 21) stellt die Eingeweide des Wurmes dar; a a ist der Magen mit unzähligen in ihm eingewurzelten Luftröhrchen d d; b ist die Speiseröhre.

Ferner bemerkt man ringförmige Muskeln, welche den Mageninhalt bewegen; g g g g sind die 4 Blinddärme[1]); h h ist der Ort, wo sie mit der Magenpforte f in Verbindung treten, i aber stellt den darauf folgenden eigentlichen Darm dar.

Die 5. Figur derselben Kupfertafel giebt die Spinndrüsen wieder, in welchen der Spinnstoff bereitet wird.

Die 1. Figur[2]) stellt die Luftröhrchen des Bienenwurmes dar. Man erkennt die 20 Öffnungen derselben, desgleichen, wie die Röhrchen von der einen Seite des Leibes zur anderen laufen und ihre Verzweigungen aussenden. Der Wurm ist hier ganz geöffnet; Eingeweide, Fett und Häute wurden mit Wasser und einem zarten Pinsel sorgfältig ausgewaschen.

Sind die Würmer von den Arbeitsbienen genugsam gefüttert worden, so hören sie mit einem Male auf, Nahrung zu sich zu nehmen, und bespinnen sich von unten bis oben. Ist das Gespinnst fertig, so hat die Arbeiterin wiederum eine neue Arbeit vor sich. Sie mufs nämlich die Würmer sorgfältig in ihren Zellen versiegeln. Geschähe dies nicht, so würde das Gespinnst durch das Hin- und Herlaufen der Bienen leicht eingedrückt und infolgedessen die darunter befindlichen zarten, noch keimenden und kaum gehäuteten Gliedmafsen der Bienen versehrt werden können. Aufserdem hält der Deckel der Zelle auch warm und beschleunigt dadurch die Umwandlung der Puppe in die fertige Biene. Als ich einst einige in diesem Stadium befindliche Würmer bei mir trug, brütete ich sie unvermerkt durch die Wärme meines Körpers aus.

1) Die Malpighischen Gefäfse; Siehe die Anmerkung auf Seite 110.

2) Die 1. und die 5. Figur sind hier nicht wiedergegeben.

Sie wurden aus Püppchen Bienen und liefen in meinem Schächtelchen so hurtig herum, dafs es zu verwundern war.

Hat der Wurm sich eingesponnen, so ruht er völlig und bleibt ohne die geringste Bewegung in seiner angenommenen Stellung. Zergliedert man ihn um diese Zeit, so sieht man aufser den oben beschriebenen blinden Gefäfsen an derselben Stelle, wo diese unterhalb der Magenpforte auftreten, eine grofse Menge zarter Gefäfse, die meines Erachtens keine anderen sind als die von Malpighi[1]) an den Seidenwürmern aufgefundenen. Sie sind bei den erwachsenen Bienen viel stärker als jetzt. Hier erhebt sich die Frage, welchem Zwecke doch eigentlich diese blinden Gefäfse dienen, ob sie vielleicht eine besondere Flüssigkeit absondern, der etwa die Aufgabe zufiele, den Darminhalt zu verändern, oder ob sie den Blinddärmen der Vögel entsprechen[2]). Doch ist selbst bei diesen noch nicht recht ausgemacht, wozu die Blinddärme dienen.

Während nun der Wurm sich im Ruhezustande befindet, schwillt er sehr merklich an der Brust, weniger am Kopfe. Dies rührt daher, dafs die hervorgewachsenen Gliedmafsen allmählich anschwellen. Man sieht dann Beine, Kopf, Brust, Hinterleib und Frefswerkzeuge, ja die ganze Gestalt der zukünftigen Biene durch die Haut hindurchschimmern. Doch sind die Gliedmafsen noch sehr zusammengefaltet, schwach und zart; so sind auch alle Muskelfasern wie Gallerte und so feucht, dafs sie wie Wasser zerfliefsen. Zuletzt bricht die Haut auf, und der Wurm nimmt die Gestalt eines Püppchens an, d. h. er zeigt seine bis dahin verborgenen Gliedmafsen. Man kann sie an ihm deutlicher erkennen als an der Biene selbst, weil sie noch nicht in dem Mafse behaart sind wie nachher. Der Bau der Frefswerkzeuge fällt gleichfalls besser in die Augen als, nachdem die Puppe durch eine noch heutzutage irrtümlich angenommene Wesensverwandlung zur Biene geworden. Bestehen doch alle Verwandlungen der Insekten in nichts anderem als im langsamen Anwachs ihrer Gliedmafsen, so dafs ihre Entwickelung nicht nur mit der Entwickelung anderer Tiere, sondern auch mit derjenigen der Pflanzen übereinstimmt, wie ich im Vorhergehenden ausführlich dargethan habe.

Das kleine Geschöpf ist nun in diesem Zustande wunderbar zart. Die Haut ist von ihm abgestreift, sogar die Luftröhren

---

1) Malpighi (1628—1694), einer der Begründer der mikroskopischen Anatomie.

2) Siehe die Anmerkung auf S. 110.

haben sich von innen gehäutet. Dies geschieht, indem die Tierchen ganze Adern und Röhren ausstofsen, so dafs die im Innern abgestreiften Luftröhren in der ihnen eigentümlichen Lage und Gestalt zum Leibe hervordringen. Desgleichen häutet sich auch der Magen, der Mund und das Ende des Darmes; doch ist dies schwierig zu beobachten. Auffällig ist auch, dafs, nachdem der Wurm zum Püppchen geworden ist, alle Gliedmafsen, Flügel, Fühler und Frefswerkzeuge Luftröhren besitzen, welche beim Ausstrecken dieser Teile mit Luft gefüllt werden und zur Ausdehnung der Glieder das Ihrige beitragen.

Nunmehr will ich die Lage der Gliedmafsen im Puppenstadium beschreiben; und zwar will ich die Anordnung der Teile unter der Haut, doch etwas aus ihrer natürlichen Lage gebogen, darstellen.



Fig. 22. Die Puppe der Biene. (Swammerdam, Bibel der Natur, Taf. XXV, Fig. 9).

a ist der Kopf der Puppe, der nunmehr durch die eingedrungene Luft ausgedehnt ist. Dabei ist er und der ganze übrige Leib so weich und zart wie geronnene Milch, wie er auch an Weifse der Farbe der Milch gleichkommt.

b b sind die Augen.

c c sind die aus der Mitte des Kopfes hervorsprossenden Fühler.

d ist die Lippe.

e e ist das erste Kieferpaar.

f f ist das zweite Kieferpaar.

g g sind die gegliederten Anhänge der Frefswerkzeuge; jeder derselben besteht aus drei Gliedern.

h ist die Zunge, wie sie zwischen und unter allen bisher genannten Teilen sehr artig liegt. Alle diese Teile sind mit Luftröhren versehen.

i i ist das erste Beinpaar.

l l das zweite.

m m sind die Flügel der Biene, die aber nur teilweise sichtbar sind. Auch diese haben zahlreiche Luftröhren. Werden letztere mit Luft gefüllt, so wird der ganze Flügel ausgespannt und wohl 3—4 mal gröfser als er gegenwärtig ist.

o o ist das letzte Beinpaar.

p p sind die Ringe des Hinterleibes mit ihren 7 Atemlöchern an jeder Seite.

q stellt den hintersten Teil der Puppe dar, wo der Stachel ein wenig aus dem Leibe hervorragt, sowie die beiden Teilchen, welche den Stachel begleiten. Darunter erblickt man die Öffnung des Darmes.

Haben sich nun die Puppen so lange in ihren wächsernen Häuschen befunden, bis ihre überflüssige Feuchtigkeit verdunstet ist, so streifen sie endlich ihre letzte Haut ab. Alsdann durchbrechen sie das Gespinnst und gleichzeitig das Wachs, das sie zackig nach aufsen biegen. Die anderen Bienen nehmen alsdann die Brocken von Wachs und Gespinnst hinweg, so dafs alles reinlich und der obere Rand des Häuschens gleich und eben wird. Auf dieselbe Weise brechen auch die Männchen und die Weibchen aus ihren Zellen hervor, wie sie sich auch auf gleiche Weise verwandeln, doch mit dem Unterschied, dafs die Arbeitsbienen und die Männchen mit gefalteten Flügeln hervorkommen und dafs ihre Flügel erst nachher durch hineingetriebene Luft sich ausdehnen müssen. Denn, wie schon oben bemerkt, sind die in ihren Flügeln bemerkbaren grofsen Adern eigentlich Luftröhren. Das Weibchen indes kommt nicht mit gefalteten und geschlossenen, sondern mit offenen, ausgebreiteten Flügeln aus seiner Zelle gleichsam schon fliegend hervor. Deshalb hat ihm auch die allweise Natur eine geräumige Behausung angewiesen, in der es die Flügel gemächlich ausbreiten kann. Die Absicht dabei ist diese: Das Weibchen soll, sobald es sich aus seinem Häuschen losgebrochen hat, schwärmen oder das alte Weibchen vertreiben, um dessen Stelle einnehmen zu können.

Dafs die übrigen Bienen es merken, wenn das neugeborene Weibchen am Durchbruch seines Häuschens arbeitet, daran zweifle ich nicht. Einige Tage vor dem Schwärmen sieht man nämlich viele Bienen an der Zelle des Weibchens hängen und auf seine Hervorkunft warten.

Hiermit schliefse ich meine Abhandlung über die Bienen, deren Natur, Art und Bau so seltsam, wunderbar und ehrwürdig ist, dafs sie die Güte, Weisheit, Gerechtigkeit und Majestät Gottes ohne Unterlafs überlaut ausposaunen, wie auch alle anderen Geschöpfe jedes nach seiner Art es thun und im Wasser, in der Luft und auf der Erde mit hellen Stimmen das Lob Gottes verkündigen. Ich will deshalb meine Stimme der ihrigen hinzufügen und mit den Ältesten in der Offenbarung des Johannes ausrufen: Du Herr bist würdig zu empfangen Herrlichkeit, Ehre und Kraft, denn Du hast alle Dinge geschaffen und durch Deinen Willen sind sie erschaffen.

---

22. Die Begründung der Pflanzenphysiologie.

Hales, Versuche die Kraft zu entdecken, welche der Saft im Weinstock zu der Zeit hat, da der Weinstock thränt[1]). 1727.

Stephan Hales, 1677 in Kent geboren, widmete sich der Theologie, daneben aber mit Vorliebe den Naturwissenschaften; er wurde 1718 Mitglied der Royal Society und starb 1761.

Seine Statik der Gewächse ist eines der hervorragendsten botanischen Werke. Die nachfolgende Übersetzung einiger Abschnitte läfst erkennen, welche Fülle geschickter Versuche und Messungen dasselbe enthält. Näheres über Hales siehe Bd. II. d. Grdr. (1. Aufl.) S. 271 u. f.

Erster Versuch.

Am 30. März, 3 Uhr nachmittags schnitt ich einen nach Westen gelegenen Weinstock 7 Zoll über der Erde ab. Der übriggebliebene Stumpf, Figur 23 c, besafs keine Äste, er war 4 bis 5 Jahre alt und $^3/_4$ Zoll dick. An der Spitze dieses Stummels befestigte ich vermittelst der Hülse b eine gläserne Röhre b f von 7 Fufs Länge und $^1/_4$ Zoll Durchmesser. Die Fuge b dichtete ich mit einer Masse aus zusammengeschmolzenem Wachs und Terpentin, welche ich herum schmierte und mit nassen Blasen gut bedeckte. Diese Blasen wurden viele Male herumgewickelt und mit Bindfäden fest gebunden. Ich verband eine zweite Röhre f g mit der ersten und fügte an die zweite noch eine dritte g a, sodafs alle drei ein Rohr von 25 Fufs Länge bildeten. Als der Weinstock nicht sogleich thränte, gofs ich etwa 2 Fufs Wasser in die Röhre, die dann der Stock in sich sog, sodafs abends um 8 Uhr nicht mehr als 3 Zoll davon übrig waren. Den 31. März von morgens bis 10 Uhr abends war der Saft 8 $^1/_4$ Zoll gestiegen. Am 1. April, 6 Uhr morgens, als es klares Eis gefroren hatte, war der Saft seit dem vorhergehenden Abend um 3 $^1/_4$ Zoll gestiegen. Auf solche Art stieg er täglich fort bis zu 21 Fufs Höhe; vermutlich würde er noch höher gekommen sein, wenn die Fuge b nicht bis-

[1]) Statik der Gewächse oder Versuche mit dem Saft in den Pflanzen von Stephan Hales, ins Deutsche übersetzt, Halle 1748. Der hier gebrachte Abschnitt ist ein Auszug des dritten Hauptstückes, welches mit dem englischen Original verglichen und, wo es erforderlich schien, Abänderungen unterworfen wurde.

weilen Wasser hätte durchtreten lassen. Nachdem dieselbe gedichtet war, stieg der Saft mitunter so sehr, dafs es in drei Minuten einen Zoll ausmachte. Während der Zeit, dafs der Wein am stärksten zu thränen pflegt, stieg der Saft Tag und Nacht, am Tage aber mehr als nachts, und am meisten während der heifsen Tageszeit.

Dieser Versuch zeigt die grofse Kraft, die in der Wurzel ihren Sitz hat und den Saft in die Höhe treibt, wenn der Weinstock thränt. Ich wollte weiter untersuchen, ob ich diese Kraft noch im Weinstock antreffen würde, wenn die Zeit des Thränens vorüber ist, und stellte dazu folgenden Versuch an.

Zweiter Versuch.

Am 4. Juli nachmittags schnitt ich einen Weinstock drei Zoll über der Erde ab, verband den Stummel mit einer Röhre von 7 Fufs Länge, wie im vorigen Versuch, und füllte sie mit Wasser. Von diesem Wasser sog die Wurzel am ersten Tage jede Stunde einen Fufs in sich. Den zweiten Tag sog sie viel weniger und langsamer, jedoch fiel das Wasser alle Tage. Unterdessen bemerkte ich an einem zweiten Weinstocke, der im Blumentopfe stand, dafs eine sehr grofse Menge Saft alle Tage durch den Stamm ging, um die Transpiration der Blätter zu unterhalten. Wenn also diese bedeutende Menge durch eine in den Wurzeln beständig wirkende Kraft in die Höhe getrieben worden wäre, so hätte sie auch bei dem ersten Weinstock in die Höhe getrieben werden müssen, und folglich hätte der Saft aus dem Stamme in die Röhre steigen müssen.

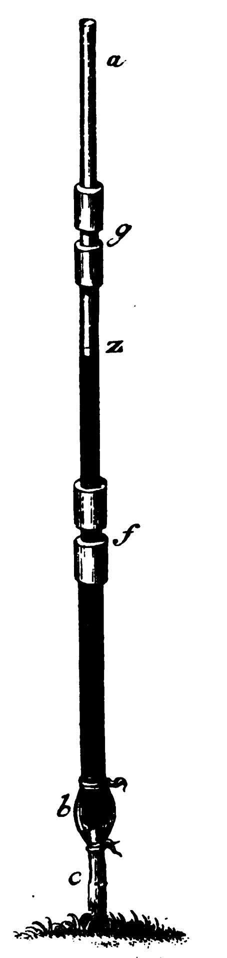


Fig. 23. Das Steigen des Pflanzensaftes in einer 25 Fufs langen Röhre.
(Hales, Statik der Gewächse, Tab. IV, Fig. 17.)

Dafs aber diese Saftströmung sogleich aufhört, wenn der Weinstock von seinem Stamme abgeschnitten ist, rührt offenbar daher, dafs der vornehmste Grund des Saftsteigens, nämlich die starke Transpiration der Blätter, zerstört worden ist.

Dritter Versuch.

Am 6. April vormittags um 9 Uhr schnitt ich einen Weinstock, a in Fig. 24, der gegen die Mittagssonne stand, 2 Fufs 9 Zoll über der Erde ab. Der Stummel a b besafs keine Zweige und war $^{7}/_{8}$ Zoll dick. Daran befestigte ich die Röhre a y und gofs in dieselbe Quecksilber. Um 11 Uhr vormittags war das Quecksilber bis z gestiegen und stand 15 Zoll höher als im Schenkel x, wo die Kraft des aus dem Stamme dringenden Saftes es zu fallen nötigte. Um 4 Uhr nachmittags war das Quecksilber einen Zoll in dem Schenkel z y gefallen. Am 10. April morgens 7 Uhr stand es 18 Zoll hoch und ich gofs neues Quecksilber zu dem, das schon in der Röhre war, so dafs das Niveau bei z 23 Zoll höher stand als dasjenige bei x. Dieses neue Gewicht trieb nur sehr wenig Saft in den Stamm zurück, und daraus läfst sich genugsam ersehen, mit welcher Kraft der Saft aus dem Stamme dringt. Mittags war das Quecksilber um einen Zoll gefallen. Am 14. April früh 7 Uhr stand es $20^{1}/_{4}$ Zoll hoch.

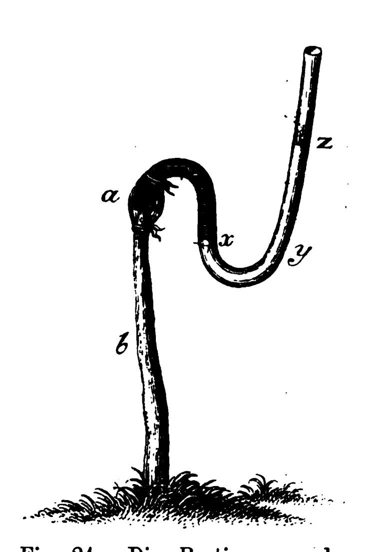


Fig. 24. Die Bestimmung des Wurzeldruckes mittelst des Quecksilbermanometers.
(Hales, Statik der Gewächse. Tab. IV, Fig. 18.

Um 9 Uhr morgens bei hellem Sonnenschein und genügender Wärme $22^{1}/_{2}$ Zoll. Hieraus erkennen wir, dafs die Vormittagswärme der Sonne dem Safte eine neue Kraft verleiht. Um 11 Uhr vormittags an demselben Tage stand das Quecksilber nur $16^{1}/_{2}$ Zoll hoch. Die grofse Ausdünstung des Stammes hatte dieses Sinken bewirkt.

Am 17. April 11 Uhr vormittags war Regen und Wärme. Die Quecksilberhöhe betrug $24^{1}/_{2}$ Zoll. Um 7 Uhr nachmittags, bei sanftem Regen und warmem Wetter stand das Quecksilber auf $29^{1}/_{2}$ Zoll. Eben dieser Regen verursachte, dafs der Saft den ganzen Tag über stieg, weil Regenwetter die Ausdünstung verringert.

Am 18. April früh 7 Uhr betrug die Höhe $32^{1}/_{2}$ Zoll. Sie würde noch mehr betragen haben, wenn mehr Quecksilber in der

Röhre gewesen wäre. Vom 18. April an bis zum 5. Mai nahm die Kraft des Saftes nach und nach ab. Als die Quecksilberhöhe 32½ Zoll betrug, war diese Kraft dem Drucke einer 36 Fufs 5 Zoll hohen Wassersäule gleich. In einer anderen der ersten gleichen Röhre, die am Fufse eines Weinstocks befestigt war, erhob diese Kraft des Saftes das Quecksilber auf 38 Zoll, was dem Drucke einer 43 Fufs 3 Zoll hohen Wassersäule entspricht.

Diese Kraft ist etwa fünfmal so grofs wie der Druck des Blutes in der grofsen Pulsader auf dem Schienbeine des Pferdes und siebenmal gröfser als der Blutdruck in eben dieser Ader beim Hunde. Den verschieden grofsen Druck des Blutes ermittelte ich dadurch, dafs ich die Tiere lebend auf dem Rücken festband und die grofse Pulsader auf dem Schienbein öffnete. Darauf verband ich mit dieser Arterie vermittelst zweier Messingröhren ein Glasrohr von 10 Fufs Länge und ⅛ Zoll Durchmesser. In diesem Rohr stieg das Blut eines Pferdes 8 Fufs 3 Zoll, dasjenige eines kleinen Hundes dagegen 6½ Fufs hoch empor.

Vierter Versuch.

Am 10. März, als die Zeit des Thränens begann, schnitt ich von einem Weinstock, bfcg in Fig. 25, einen Ast ab, der 3—4 Jahre alt war und kittete an den Stummel b eine kupferne Hülse, mit welcher ich das gläserne Rohr z von 7 Fufs Länge und 1¼ Zoll Durchmesser wohl verband. An diese erste Röhre fügte ich noch andere, und das Ganze erstreckte sich bis zu 38 Fufs Höhe. Sie wurden alle durch hölzerne Kanäle gestützt und gehalten, deren eine Seite sich wie eine Thür am Schranke öffnen liefs. Diese hölzernen Behälter dienten dazu, die gläsernen Röhren gegen den Frost zu schützen, der sonst des Nachts den Saft in Eis verwandelt und das Glas unfehlbar zerbrochen haben würde. Die Weinstöcke, auf welche ich meine Röhren bei diesem Versuche gebracht, waren von der Wurzel bis zum Gipfel 20 Fufs hoch, die Röhren dagegen waren in verschiedenen Höhen von 2—6 Fufs über der Erde fest gemacht. Am erste Tage stieg der Saft nach Mafsgabe der Kräfte im Weinstock 1, 2, 5, 12, 15 oder 25 Fufs; er fiel jedoch immer gegen die Mittagszeit. War der Mittag gar frisch, so fiel der Saft nur von 11 oder 12 bis um 2 Uhr. Wenn es aber sehr warm war, fing er um 9 oder 10 Uhr vormittags an zu fallen, und dies dauerte bis 4, 5 oder 6 Uhr abends. Darauf stand er eine oder zwei Stunden still; hierauf fing er langsam an zu steigen,

jedoch so lange es Nacht war sehr wenig bis zum Sonnenaufgang. Hierauf hob er sich aber geschwinder und höher als zu jeder anderen Tageszeit. Je frischer der Schnitt am Weinstock und je wärmer das Wetter war, um so mehr stieg und fiel der Saft innerhalb eines Tages, und zwar bis zu 4 oder 6 Fuſs.

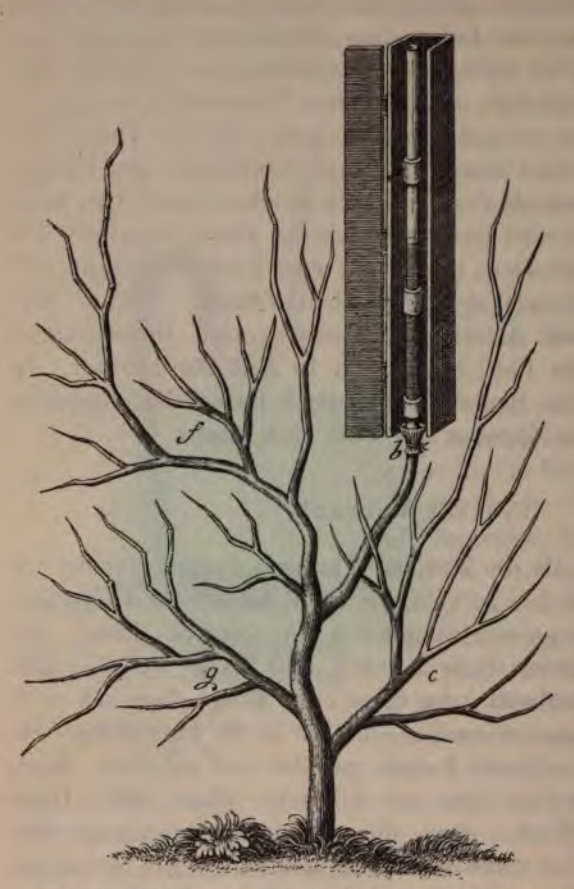


Fig. 25. Das Steigen des Saftes aus einem Aste. Hales, Statik der Gewächse. Tab. V, Fig. 20.

War veränderliches Wetter, so sah man den Saft am Morgen, während er sonst stieg, augenscheinlich fallen, so lange die Sonne mit Wolken bedeckt war. Wenn das Gewölk lange genug die Sonne verdeckte, fiel er mehrere Zoll. Sobald aber die Wolke den Sonnenstrahlen Platz machte, fing der Saft sogleich wieder an zu steigen, gerade wie die Flüssigkeit im Thermometer mit den Schwankungen der Temperatur steigt und fällt.

An den rings um mein Haus gepflanzten Weinstöcken hatte ich 3 Röhren angebracht, eine nach Osten, die andere gegen Mittag, die dritte gegen Westen. Der Saft fing morgens an sich zuerst in der nach Osten liegenden Röhre zu erheben, dann folgte die an der Südseite, zuletzt die im Westen. Um die Mittagszeit fiel er zuerst im Osten, darauf im Süden, zuletzt im Westen. Regen und mäſsige Wärme nach einem trockenen und kalten Tage

ıchten, dafs der Saft beständig stieg und mittags statt des
llens nur eine Verlangsamung im Steigen eintrat.

Im ersten Versuch, als ich eine Röhre an einem sehr kurzen
ımmel eines Weinstocks angebracht hatte, der keine Zweige
safs, sahen wir, dafs der Saft ununterbrochen den ganzen Tag
eg, und zwar am geschwindesten während der heifsesten Tages-
t. Beim zweiten Versuch fiel dagegen der Saft beständig und
ar in dem Mafse, wie gegen die Mittagszeit die Wärme zunahm.
enn man sich der starken Ausdünstung der Bäume erinnert, so
ıfs man hieraus schliefsen, dafs das Niederfallen des Saftes von
r Transpiration der Äste herrührt, welche mittags stärker als
jeder anderen Tagesstunde ist, mit der Hitze gegen Abend ab-
nmt und vermutlich nachts, wenn der Tau fällt, ganz aufhört.
ıde April hat der Weinstock infolge der Entfaltung vieler Blätter
ıe weit gröfsere Fläche bekommen. In demselben Mafse nimmt
Ausdünstung zu, und der Überflufs an Saft, der bisher durch
s Thränen seinen Weg gesucht hat, hört wieder bis zum folgen-
n Frühjahr auf.

Ebenso geht es mit allen Bäumen, die wie der Weinstock
ıten oder thränen. Dies hört nämlich auf, sobald die jungen
ätter ausgedehnt genug sind und kräftig transpirieren. Auch
ıen wir, dafs die Rinde von Eichen und vielen anderen Bäumen
Frühjahr leicht infolge einer Schlüpfrigkeit losgeht, welche von
m Überflufs an Saft herrührt. Sobald aber die Blätter Fläche
nug haben, um diesen Saft durch Ausdunsten von sich geben zu
ınnen, geht die Rinde nicht mehr so leicht los, sondern schliefst
ch fest um das Holz.

---

3. Celsius führt die hundertteilige Thermometerskala ein. 1742.

elsius, Beobachtungen von zwei beständigen Punkten auf einem Thermometer[1]).

*Celsius (1701—1744), war Professor der Astronomie in Up-
a. Näheres über die Geschichte des Thermometers siehe Bd. II
Grdr. (I. Aufl.) S. 258 u. 259.*

1) Abhandlung der schwedischen Akademie. IV. Bd. 1742. Eine deutsche
ersetzung von Kästner (1750), die hier zu Grunde gelegt wurde, ist im
Bändchen von Ostwalds Klassikern der exakten Wissenschaften enthalten
ipzig, Verlag von Wilhelm Engelmann, 1894). Dort findet man auch die
beiten Fahrenheits und Réaumurs, sämtlich herausgegeben von A. J.
Oettingen.

Die Thermometer sind jetzt bei uns sehr im Gebrauch. Die gemeinsten sind die sogenannten florentinischen, welche aus Deutschland nach Schweden kommen und alle insofern nichts nutze sind, als sie kein gewifses Mafs der Wärme und der Kälte geben und aufserdem bei einerlei Wärme nicht einerlei Grad zeigen.

Diese Fehler hat man zu verbessern angefangen, indem man an den Thermometern einen beständigen Punkt gesucht und davon die Grade gerechnet hat, von denen jeder z. B. $^1/_{100,000}$ der ganzen Masse des Weingeistes oder des Quecksilbers im Glase beträgt; oder man hat zwei beständige Punkte in einer gewissen Entfernung von einander gefunden, welche man, ohne sich um die ganze Masse zu bekümmern, in eine gewisse Anzahl Grade geteilt hat.

Ich für mein Teil finde keine bequemere Art, die Grade auf einem Thermometer abzuteilen, als einige Punkte der Höhe des Quecksilbers zu bestimmen, und zwar die Punkte, bei denen das Wasser kocht und zu gefrieren anfängt, und danach die Grade zu verzeichnen.

Was den Punkt des Gefrierens angeht, so hat Réaumur denselben bei warmer Witterung mit einer künstlich gemachten Kälte bestimmt[1]). Andere haben Wasser im Winter in die Kälte gesetzt und das Thermometer so lange darin gelassen, bis das Wasser sich mit einer Eiskruste überzog. Dieses Verfahren kann nicht sehr fehlen, wenn es mit Achtsamkeit angestellt wird. Da jedoch niemand leugnen wird, dafs das Wasser denselben Grad der Kälte hat, wenn es zu gefrieren anfängt, wie das Eis, das wieder zu schmelzen beginnt, so habe ich den Punkt des gefrierenden Wassers am genauesten und bequemsten bestimmt, indem ich das Thermometer wenigstens eine halbe Stunde in klebrichtem Schnee stehen liefs.

Diese Versuche habe ich zwei Jahre in allen Wintermonaten bei verschiedenem Wetter und mancherlei Änderungen des Barometerstandes wiederholt und allezeit genau denselben Punkt am Thermometer gefunden. Ich habe nicht allein das Thermometer in klebrichten Schnee gesetzt, sondern auch bei starker Kälte Schnee in mein Zimmer ans Feuer gebracht, bis er klebricht wurde. Ich habe auch einen Kessel mit klebrichtem Schnee nebst dem Thermometer in einen geheizten Ofen gesetzt

1) Réaumur benutzte eine Kältemischung aus zerstofsenem Eis und Salpeter oder Kochsalz, in diese brachte er das Gefäfs mit Wasser, welches das Thermometer enthielt.

und allezeit gefunden, dafs es denselben Punkt anzeigte, so lange der Schnee dicht um die Thermometerkugel lag. Überdies, damit niemand daran zweifelt, dafs der schmelzende Schnee an allen Orten einerlei Wärmegrad besitze, habe ich in Torneå, 6 Grad näher dem Pole als Upsala, mit demselben Thermometer, nämlich demjenigen Réaumurs, genau eben den Punkt bemerkt, der $^{1}/_{5}$ Grad über dem von ihm angemerkten Gefrierpunkt lag. Daraus erhellt, dafs in Paris, welches dem Äquator 17 Grad näher liegt als Torneå, das Wasser bei demselben Grad gefriert. Der kleine Unterschied von $^{1}/_{5}$ Grad läfst sich Réaumurs Art, den Gefrierpunkt zu finden, zuschreiben.

Was den anderen beständigen Punkt betrifft, so ist bekannt genug, dafs das Wasser keinen höheren Hitzegrad annimmt, nachdem es einmal zu kochen angefangen hat, so lange man auch mit dem Sieden fortfährt, sodafs das Quecksilber im Thermometer allezeit denselben Punkt anzeigt.

Doch hat Fahrenheit beobachtet, dafs der Punkt des kochenden Wassers, bei dem das Quecksilber im Thermometer stehen bleibt, zu der Quecksilberhöhe im Barometer in Beziehung steht. Ich habe gleichfalls diese merkwürdige Beobachtung bei verschiedenen Barometerhöhen sehr genau angestellt und gefunden, dafs die Versuche Fahrenheits ihre Richtigkeit haben.

Wenn also der Punkt des kochenden Wassers beständig bleiben soll, so wird erfordert eine gewisse Barometerhöhe zu bestimmen, mit dem er allezeit in Verbindung gesetzt wird. Da nach allen Beobachtungen, sowohl in Schweden als anderswo in Europa, die mittlere Höhe des Barometers 25 Zoll 3 Linien beträgt, so ist es am besten, den Punkt zu nehmen, den das Thermometer bei besagter Barometerhöhe im siedenden Wasser angiebt.

Hat man diese beiden beständigen Punkte gefunden, die bei empfindlichen Thermometern ansehnlich von einander abstehen, so lassen sich die Grade am besten auf folgende Art bezeichnen, bei der man sicher geht, dafs verschiedene Thermometer in einerlei Luft allezeit einerlei Grad weisen werden, und dafs z. B. ein Thermometer, das in Paris gemacht worden, bei gleicher Wärme auf eben der Höhe stehen wird, die ein Thermometer anzeigt, das zu Upsala gemacht worden.

1. Man setzt den Cylinder des Thermometers in klebrichten Schnee und bemerkt genau den Punkt des gefrierenden Wassers C.

2. Wird der Punkt des kochenden Wassers D bei einer Barometerhöhe von 25 Zoll und 3 Linien vermerkt.
3. Die Strecke CD wird in hundert gleiche Teile oder Grade geteilt. Setzt man eben diese Gradteilung unter C fort, so ist das Thermometer fertig.

---

24. Die Lehre von der Sexualität der Pflanzen.

Camerarius, Über das Geschlecht der Pflanzen[1]).

Rudolf Jakob Camerarius wurde 1665 in Tübingen geboren. Mit 23 Jahren wurde er Direktor des botanischen Gartens seiner Vaterstadt. Er starb daselbst im Jahre 1721.

Es ist das Verdienst des Camerarius, daſs er die Sexualität der Pflanzen, über welche vor ihm nur Vermutungen ausgesprochen worden waren, zuerst durch Versuche nachgewiesen hat. Er berichtet über seine Untersuchungen in einem Briefe, dessen wichtigste Abschnitte im nachfolgenden wiedergegeben werden. Linné fuſste auf Camerarius, indem er dessen Lehre seinem System (Siehe Abschnitt 25 d. Bds.) zu Grunde legte. Näheres über den Nachweis der Sexualität der Pflanzen siehe Bd. II d. Grdr. (1. Aufl.) S. 222 u. f., 277 u. f.

Laſs mich von einer Beschreibung der Pflanzen ausgehen. Ich beginne mit der Betrachtung der Blüten. Diese sind die Vorläufer der Samen und bieten hauptsächlich zweierlei Bemerkenswertes, die Blumenblätter und die Staubbeutel.

Wenn letztere zur vollkommenen Entwickelung gelangt sind, so zeigen sie verschiedene Farben und erweisen sich als eine Art von Gefäſsen oder Kapseln, jede auf ihrem Faden oder Stiele sitzend; sie pflegen darauf meistens in Furchen aufzuspringen. Zu dieser Zeit sieht man sie mit einem ziemlich feinen, gleichartigen Staub erfüllt, der von ihnen ausgestreut und in der Umgebung verbreitet wird. Dieser Staub ist es, der die Nase, wenn man an Rosen oder Lilien riecht, gelb färbt. Auf der Hand zerrieben zeigt er sich fein und mehlig, und unter dem Mikroskop betrachtet,

---

[1]) Über das Geschlecht der Pflanzen. (De sexu plantarum epistola.) 1694. Von R. J. Camerarius. Übersetzt und herausgegeben von M. Möbius. Ostwalds Klassiker der exakten Wissenschaften Nr. 105. Leipzig, Verlag von Wilhelm Engelmann 1899.

erscheint er in Gestalt zahlloser Kügelchen. Ihre Form ist bei den verschiedenen Pflanzen verschieden, und ihre Oberfläche ist bei einigen mit Stacheln besetzt.

Die Staubbeutel umgeben den Griffel; das ist der Anhang des Samenbehälters. Bei vielen Blüten sind, so lange sie noch geschlossen sind, Staubgefäfse und Griffel gewissermafsen miteinander verklebt; sie trennen sich aber bei der Anschwellung der Knospe und treten bei ihrer Entfaltung deutlich hervor. Der oder die Griffel (je nach der Verschiedenheit der Pflanze) befindet sich stets in der Nähe der Staubbeutel, sodafs er an der Spitze, wo er gewöhnlich gespalten ist, mit dem Pollen der Staubbeutel gleich anfangs und am meisten bestäubt werden mufs.

Auf die Entfaltung der Blumenblätter und der Staubbeutel folgt nach kurzer Zeit das Absterben derselben. Darauf schwillt der untere bleibende Teil des Stempels an, während der obere verwelkt. Von dieser Beobachtung ausgehend, habe ich eine gröfsere Schmetterlingsblüte, bevor sie sich geöffnet hatte, untersucht, um die Anlage der Hülse, die nach dem Verblühen anzuschwellen pflegt, kennen zu lernen. Dabei konnte man deutlich an der zarten jungen Hülse, wenn man sie gegen das Licht hielt oder sie unter dem Mikroskop betrachtete, kleine grüne in einer Reihe an der Naht angeordnete Bläschen durch die Haut hindurchschimmern sehen. Aus der an mehreren Blüten fortgesetzten Beobachtung ging deutlich hervor, dafs diese Bläschen nichts anderes sind als die Schalen der zukünftigen Samen. So finden sich also die Anlagen der Früchte in den Blüten, und folglich wären zu ihrer Zeit regelmäfsig soviel Früchte zu erhoffen, als vorher Blüten vorhanden waren, wenn sie nicht infolge verschiedener ungünstiger Umstände oft vor der Reife abfielen oder abgerissen würden.

Bei einigen Pflanzen sind die Staubbeutel soweit von den Griffeln entfernt, dafs sie ein besonderes Organ bilden, welches aber ohne nachfolgende Frucht verblüht, während in einiger Entfernung der Stempel und die Anlagen der Samen entstehen. Dies gilt z. B. vom Mais oder Welschkorn. Bei dieser Getreideart ist die hervorragende Rispe an der Spitze des Halmes zu bekannt, als dafs ich sie genauer zu beschreiben brauchte. Nachdem diese Rispe ohne Samenansatz verblüht und zum Teil schon verdorrt ist, bilden sich erst weiter unten jene dicken cylindrischen Kolben aus, die mit ihren Körnern von einer Anzahl Blätter umgeben aus jedem Korn einen langen Faden heraushängen lassen, sodafs diese sich wie ein Schweif ausbreiten und den Blütenstaub aufnehmen.

Bei gewissen Bäumen, z. B. der Fichte, Tanne, Waldkiefer, Haselnufs, Eiche und Erle spricht sich nicht weniger deutlich eine Beziehung zwischen den Staubgefäfsblüten und den Stempeln aus.

Bei einigen Pflanzen tritt eine neue Beziehung der Staubgefäfsblüte zum Samen auf. Beim Bingelkraut (Mercurialis) und beim Hopfen nämlich pflegen die einen Stöcke Blüten, die anderen Samen zu tragen. Das heifst, wenn man von derselben Pflanze die reifen, keimfähigen Samen in denselben Boden bringt, so sieht man zweierlei Pflanzen aus ihnen hervorgehen, die im allgemeinen einander ähnlich sind und auch gleich benannt werden, bis sie sich zur Fortpflanzung rüsten. Sodann bemerkt man, dafs die einen nur Blüten, d. h. Staubgefäfse tragen und gänzlich ohne Frucht und Samen bleiben, während die anderen Früchte tragen, dafür aber der Blumenblätter und Staubbeutel durchaus entbehren.

Derselben Erscheinung begegnet man bei gewissen Bäumen. So bezeugt Theophrast von der Palme, „die eine blühe, die andere bringe später Früchte hervor, und bei der letzteren könnten die Früchte niemals zur Reife kommen, wenn man nicht den Blütenstaub der ersteren über sie ausgeschüttelt habe“ [1]).

In der zweiten Gruppe von Pflanzen, bei denen die Blüten und die Früchte sich zwar auf derselben Pflanze befinden, aber getrennt sind, habe ich auch an zwei Beispielen erfahren, wie nachteilig für die Pflanzen der Verlust der Staubbeutel ist. Denn als ich beim Ricinus die runden Blütenknospen vor der Entfaltung der Staubbeutel entfernt und das Auftreten neuer sorgfältig verhindert hatte, erhielt ich aus den vorhandenen unverletzten Samenanlagen niemals vollkommenen Samen, sondern ich sah die tauben Samenhäute herabhängen und schliefslich verwelkt und verschrumpft untergehen. Ähnlich verhielt es sich beim türkischen Weizen (Mais), indem nach rechtzeitigem Abschneiden des sich schon entfaltenden Schopfes zwei Ähren erschienen, die gänzlich jedes Samens entbehrten, sodafs eine grofse Anzahl leerer Samenhäute vorhanden war.

Für die dritte Gruppe von Pflanzen, bei denen Blüten und Früchte nach Stöcken getrennt sind, bieten der Maulbeerbaum (Morus) und das Bingelkraut (Mercurialis) Beispiele dar. Da ich mich über diese schon früher ausgelassen habe, will ich nur erwähnen, dafs ein Maulbeerbaum, der in der Nachbarschaft keinen Genossen mit Blüten hatte, zwar Beeren trug, dagegen nicht einen einzigen Keimling in ihnen entwickelt zu haben schien, und dafs

[1]) Siehe Seite 9 dieses Bds.

ebenso das Bingelkraut, welches die Samenanlagen trug, zwar reichliche aber lauter nicht keimfähige Samen trug, wenn es von der Gemeinschaft mit blühenden Pflanzen ganz ausgeschlossen wurde. Es erscheint also gerechtfertigt, den Staubgefäfsen die Funktion der männlichen Organe zuzuschreiben; dann würde der Samenbehälter mit seiner Narbe oder seinem Griffel dem weiblichen Organ entsprechen. Läfst sich somit die geschlechtliche Differenzierung der Pflanzen nachweisen, so bleibt der Zeugungsvorgang selbst unklar. Zur Lösung dieser schwierigen Frage wäre es sehr zu wünschen, dafs wir von denen, die durch ihre optischen Instrumente mehr als Luchsaugen haben, erführen, was die Körnchen der Staubbeutel enthalten, wie weit sie in den weiblichen Apparat eindringen, ob sie unversehrt an den Ort kommen, wo ihre Vereinigung mit den Samenknospen stattfindet und was dabei aus ihnen austritt[1]).

---

25. Das künstliche Pflanzensystem Linnés.

Allgemeine Betrachtung und Einteilung der Pflanzen[2]).

Karl von Linné wurde 1707 zu Råshult in Schweden geboren. Nachdem er Lappland durchforscht und sich in Holland, England und Frankreich aufgehalten hatte, wurde er 1741 Professor der Botanik in Upsala; er starb 1778. In Linné finden wir die rein beschreibende, systematische Richtung der Naturwissenschaften verkörpert. Seine ausschliefslich auf die Zahl und die Beschaffenheit der Staubgefäfse und Stempel gegründete Einteilung des Pflanzenreiches ist der Typus eines künstlichen Systems. Für die schnelle Bestimmung der Pflanzen ist dasselbe jedoch noch heute von Wert. Näheres über Linné siehe Bd. II d. Grdr. (1. Aufl.) S. 266 u. f.

Durch den Besitz von Organen, durch die Art und Weise ihrer Erzeugung, ihres Lebens und Wachstums unterscheiden sich die Pflanzen von den Mineralien und haben in diesen Stücken eine grofse Ähnlichkeit mit den Tieren, von welchen sie sich jedoch durch den gänzlichen Mangel der Empfindung und willkürlicher Bewegung wesentlich unterscheiden. Es ist indessen nicht zu

---

[1]) Näheres über die Lösung dieser und anderer mit der Sexualität der Pflanzen zusammenhängenden Fragen siehe Abschn. 39 dieses Bds.

[2]) Des Ritters Carl von Linné vollständiges Pflanzensystem nach der 13. lateinischen Ausgabe übersetzt. Nürnberg 1777.

leugnen, dafs diese Grenzen zwischen dem Tier- und Pflanzenreich zuweilen sehr undeutlich sind, indem bei einigen Pflanzen gewisse Erscheinungen vorkommen, welche leicht Anlafs geben könnten, denselben eine Art von Empfindung oder freiwilliger Bewegung zuzuschreiben. Einige Pflanzen drehen ihre Stengel, Blätter oder Blumen nach dem Lichte und nach dem Laufe der Sonne; andere öffnen und schliefsen ihre Blumen täglich zu bestimmten Zeiten und richten sich darin entweder nach der Veränderung des Wetters oder nach dem Auf- und Untergang der Sonne oder thun solches, ohne sich an diese Umstände zu binden, zu gewissen Stunden, sodafs sie dadurch die Tageszeit zuverlässig anzeigen[1]. Wieder andere legen zur Nachtzeit ihre Blätter zusammen und falten sie des Morgens wieder auseinander, was man den Schlaf der Pflanzen nennt. Ferner bemerkt man sogar einige Pflanzen, welche bei einer Berührung ihre Blätter zusammenlegen und nachher wieder aus freien Stücken ausbreiten, wovon die Dionaea muscipula (Venusfliegenfalle) und verschiedene Arten der Mimosa Beispiele geben. Eine solche Reizbarkeit besitzen auch die Staubfäden vieler Blumen besonders aus der Klasse der Syngenesia[2].

Das Aufspringen der reifen Samenkapseln bei einigen Gewächsen[3] läfst sich wohl eher aus mechanischen Ursachen begreifen. Aber auch um der oben erwähnten Erscheinungen willen kann man den Pflanzen keine wahre Empfindung und noch viel weniger freiwillige Bewegungen zueignen. Obschon die bisherigen Versuche, die letzteren aus mechanischen Ursachen zu erklären, vergeblich gewesen sind, so wäre doch der Schlufs, dafs Empfindung und Willkür der Grund davon seien, zu voreilig. Letztere beiden Eigenschaften mufs man als Vorzüge der beseelten Geschöpfe allein betrachten, wenn man die Begriffe nicht ohne Not verwirren will.

Die Vermehrung erfolgt bei den Pflanzen auf zwei Arten: 1. Durch Samenbildung, 2. durch Schöfslinge, Pfropfreiser, Teilung und dergleichen.

Die Samen enthalten bereits eine neue Pflanze im Kleinen in sich, welche aber solange unentwickelt bleibt, bis sie in ein taug-

---

[1]) Dies Verhalten führte Linné dazu, eine Art Blumenuhr zusammenzustellen. Die Cichorie z. B. öffnet ihre Blüten zwischen 4 und 5 Uhr morgens, der Löwenzahn zwischen 5 und 7, die weifse Seerose nach 7 u. s. w.

[2]) Linnés 19. Klasse der Syngenesia, so genannt, weil die Staubbeutel der unter diesem Namen vereinigten Pflanzen zu einer Röhre verwachsen sind, fällt mit der Familie der Kompositen oder Korbblüter zusammen. Die Staubfäden mancher Kompositen verkürzen sich bei Berührung oder Erschütterung.

[3]) z. B. beim Springkraut (Impatiens noli tangere L.).

liches Erdreich kommt, worin sie durch Feuchtigkeit und Wärme zum Wachstum gebracht wird. Sie haben viel Ähnlichkeit mit den Eiern der Vögel und anderer Tiere und entstehen auch nach den nämlichen Gesetzen der Zeugung, welche im Tierreiche statt haben, wie solches heute zuverlässig ausgemacht ist. Dafs bei den Pflanzen zweierlei Organe, männliche und weibliche, vorhanden seien, deren wechselseitige Wirkung zur Hervorbringung eines fruchtbaren Samens erforderlich ist, haben zwar einige Forscher des Altertums schon gemutmafst, auch zu Ende des vorigen Jahrhunderts Grew[1]) und Camerer[2]) durch Beobachtungen zu bestätigen gesucht; aber erst in unseren Zeiten ist die Sache zur völligen Gewifsheit gebracht worden[3]).

Die Anzahl der Pflanzenarten, die sich auf unserer Erde befinden, wird auf zehntausend geschätzt; doch sind vermutlich noch manche unbekannte vorhanden, welche erst mit der Zeit entdeckt werden können[4]). Wenn man aber auch nur die gedachte Menge annimmt, so läfst sich begreifen, dafs es unmöglich wäre, zu einer gewifsen Kenntnis derselben zu gelangen, wenn nicht der Verstand dem Gedächtnis zu Hilfe käme und demselben einen Leitfaden verschaffte, wonach man sich bei der Unterscheidung von so vielerlei Arten richten kann. Dieser Leitfaden besteht in der Entdeckung und Festsetzung gewisser wesentlicher Kennzeichen einer jeden besonderen Art und einer danach verfertigten Einteilung der gesamten Arten. Ohne Zweifel kommt es dabei vornehmlich auf eine genaue Bestimmung der Arten an und dann auf eine geschickte und scharfsinnige Vereinigung derselben zu Gattungen, welche dann nach weiteren gemeinschaftlichen Ähnlichkeiten in Ordnungen und Klassen zusammengefügt werden.

Man hat daher schon vor ungefähr 200 Jahren, bald nach der Wiederherstellung der Wissenschaften, die Notwendigkeit erkannt,

---

1) Grew, englischer Botaniker (1628—1711) begründete gleichzeitig mit Malpighi die Pflanzenanatomie.

2) Camerarius (1665—1721), Direktor des botanischen Gartens in Tübingen, hat die Lehre von der Sexualität der Pflanzen durch Versuche begründet. Näheres darüber siehe Bd. II d. Grdr. (1. Aufl.) S. 222. Siehe auch Abschnitt 24 d. Bds.

3) Durch Kölreuter (1733—1806), Professor der Naturgeschichte in Karlsruhe. Siehe Kölreuters vorläufige Nachricht von einigen das Geschlecht der Pflanzen betreffenden Versuchen und Beobachtungen; Ostwalds Klassiker der exakten Wissenschaften Nr. 41.

4) Neuere Schätzungen geben die Gesamtzahl der Pflanzenarten nach Hunderttausenden an.

von den Pflanzen systematische Verzeichnisse anzulegen. Meinem System, dessen ausführliche Erklärung jetzt erforderlich wird, um die Pflanzen im folgenden nach demselben abzuhandeln, ist die Betrachtung derjenigen Teile der Blüte, welche die Zeugungsteile ausmachen, nämlich der Staubfäden und der Stempel, zu Grunde gelegt.

Der sogenannte Schlüssel, wonach in diesem System das ganze Pflanzenreich in Klassen eingeteilt wird, ist dieser:

A. Pflanzen mit Blüten.

Aa. Mit lauter Zwitterblüten.

aa. Mit freien Staubfäden.

aaa. Mit Staubfäden von unbestimmter Länge.

1.	Klasse mit einem Staubfaden	Monandria.
2.	„ „ zwei Staubfäden	Diandria.
3.	„ „ drei „	Triandria.
4.	„ „ vier „	Tetrandria.
5.	„ „ fünf „	Pentandria.
6.	„ „ sechs „	Hexandria.
7.	„ „ sieben „	Heptandria.
8.	„ „ acht „	Octandria.
9.	„ „ neun „	Enneandria.
10.	„ „ zehn „	Decandria.
11.	„ „ 12—19 „	Dodecandria.
12.	„ „ 20 oder mehr Staubfäden, welche nicht auf dem Fruchtboden, sondern auf der inneren Seite des Kelches sitzen	Icosandria.
13.	Klasse mit 20 oder mehr Staubfäden, welche auf dem Fruchtboden sitzen	Polyandria[1].

abb. Mit Staubfäden von bestimmter Verschiedenheit in der Länge.

---

[1]) Verdeutscht lauten die Namen der ersten 10 Klassen Ein-, Zwei-, Drei- u. s. w. Zehnmännige, der 11. Klasse Zwölfmännige, der 12. Klasse Zwanzigmännige, der 13. Vielmännige.

Manche Klassen des Linné'schen Systems, das sich wegen seiner Brauchbarkeit zum Bestimmen der Pflanzen neben dem in der Wissenschaft allein geltenden natürlichen System erhalten hat, fallen mit den Familien des letzteren ganz oder teilweise zusammen. So die 12. Klasse mit den Mandel-, Apfelbaum- und Rosengewächsen und die 13. Klasse mit den Mohn- und Hahnenfufsgewächsen.

14. Klasse, Pflanzen mit vier Staubfäden, von denen zwei nebeneinander stehende länger, und zwei kürzer sind . . . . . Didynamia.
15. Klasse, Pflanzen mit sechs Staubfäden, von denen vier länger, zwei einander gegenüberstehende aber kürzer sind . Tetradynamia[1]).

ab. Mit verwachsenen Staubfäden oder verwachsenen Staubbeuteln.

16. Klasse, Pflanzen mit Staubfäden, welche unten zusammengewachsen sind . . . . . Monadelphia.
17. Klasse, Pflanzen, deren Staubfäden zu zwei Bündeln verwachsen sind . . . . . . Diadelphia.
18. Klasse, Pflanzen, deren Staubfäden zu drei oder mehr Bündeln verwachsen sind . . . . . Polyadelphia[2]).
19. Klasse, Pflanzen, deren Staubbeutel zu einem Cylinder zusammengewachsen sind . . Syngenesia[3]).
20. Klasse, Pflanzen, deren Staubfäden mit den Griffeln verwachsen sind . . . . . . Gynandria[4]).

Ab. Mit getrennten Geschlechtern.

21. Klasse, männliche und weibliche Blüten befinden sich an einer Pflanze . . . . . . Monoecia.
22. Klasse, männliche und weibliche Blüten befinden sich auf verschiedenen Pflanzen . . Dioecia[5]).

---

[1]) Die 14. Klasse (Zweimächtige) umfafst die Mehrzahl der Lippenblüter, die 15. Klasse (Viermächtige) fällt mit der Familie der Kreuzblüter zusammen.

[2]) 16., 17., 18. Klasse = Ein-, Zwei-, Vielbrüdrige. Für die 16. Klasse bieten die Malven, für die 18. das Johanniskraut ein Beispiel.

[3]) Zusammengewachsene. Siehe Anmerkung [2]) auf Seite 128.

[4]) Weibermännige; hierzu gehören die Orchideen.

[5]) 21. und 22. Klasse = Einhäusige und Zweihäusige; für die ersteren bieten die Kiefern, für die zweiten die Weiden bekannte Beispiele.

23. Klasse, aufser den Zwitterblumen befinden sich noch männliche oder weibliche Blüten oder beide zugleich an einer oder an verschiedenen Pflanzen . Polygamia[1]).

B. Pflanzen, bei denen weder Staubfäden noch Stempel, welche bei den übrigen Pflanzen wesentliche Teile der Blüte sind, in die Augen fallen.

24. Klasse . . . . Cryptogamia[2]).

---

26. Die Polypen werden als tierische Organismen erkannt.

Trembleys Versuche mit dem Süfswasserpolypen. 1744[3]).

Abraham Trembley wurde 1710 in Genf geboren und starb daselbst im Jahre 1784. Seine merkwürdigen Beobachtungen an den Süfswasserpolypen erregten grofses Aufsehen und förderten die Einsicht in die Lebenserscheinungen der niederen Tiere in hohem Mafse.

Die Süfswasserpolypen sind cylindrische 1—2 cm lange Tiere unserer Gewässer, deren Mundöffnung von einem Kranz von Fangarmen umgeben ist. Sie gehören zum Kreise der Pflanzentiere

---

1) Vielehige; hierher gehören die Ahornarten.

2) Blütenlose. Linné teilte dieselben in Algen, Schwämme, Moose und Farnkräuter ein. Für die weitere Einteilung der Klassen 1—23 in Unterabteilungen, welche Linné Ordnungen nannte, waren vor allem die Zahl der Griffel, die Beschaffenheit der Früchte und die Anordnung der Blüten mafsgebend.

3) Trembleys Abhandlungen zur Geschichte einer Polypenart des süfsen Wassers mit hörnerförmigen Armen. Aus dem Französischen übersetzt von Goeze. Quedlinburg 1775. Der hier gebotene Abschnitt ist eine gekürzte Wiedergabe der vierten Abhandlung S. 317 u. f. Die Übersetzung wurde mit dem französischen Original verglichen und, wo es erforderlich schien, Abänderungen unterzogen. Der Titel des Originals lautet: Mémoires pour servir à l'histoire d'un genre de polypes d'eau douce à bras en forme de cornes par A. Trembley. Leide 1744.

oder Darmlosen, sind also nahe verwandt mit den Korallentieren, Schwämmen und Seerosen.

Sie leben von Würmern und kleinen Krebstieren, welche sie mit den Fangarmen ergreifen und vermögen gleich den Seerosen auf ihrer Unterlage gleitend fortzukriechen. Ganz aufserordentlich ist ihr Reproduktionsvermögen, wie aus der nachfolgenden Schilderung Trembleys hervorgeht. Man unterscheidet nach Farbe, Länge der Arme u. s. w. etwa 10 Arten.

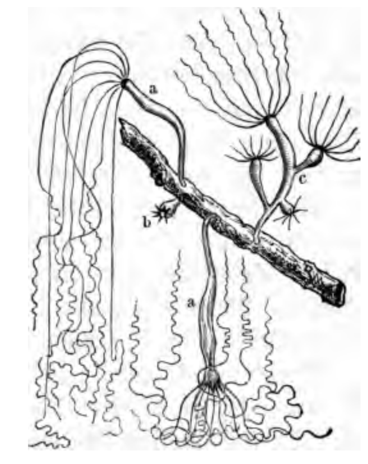


Fig. 26. Der Süfswasserpolyp mit Knospen (c) auf einer Wasserpflanze.

Um einen Polypen quer zu durchschneiden, lege ich ihn in einen Wassertropfen in die hohle linke Hand. Anfangs zieht er sich stark zusammen. Dann halte ich die Hand einen Augenblick ganz still, um ihm Zeit zum Ausstrecken zu lassen. Wenn er sich nach Wunsch ausgestreckt hat, fahre ich mit einem Schenkel der Schere ganz sacht unter den Ort, wo er zerschnitten werden soll, drücke die Schere zu und betrachte gleich nach dem Schnitt die beiden Hälften mit der Lupe, um zu sehen, wie die Operation abgelaufen ist. Die beiden Hälften des Polypen ziehen sich anfangs zusammen, doch bleiben sie so nicht lange, sondern strecken sich bald mehr bald weniger aus. Der Kopf des oberen Stückes ist der Kopf des zerschnittenen Polypen selbst. Je mehr sich dies erste Stück streckt, umso mehr verschliefst sich die hinten befindliche Öffnung; das Hinterende wird schmäler wie beim vollkommenen Polypen. Im Sommer geschieht es oft, dafs dies erste Stück noch an demselben Tage wieder frifst und umherkriecht.

Das zweite Stück ist, nachdem es sich ausgestreckt hat, am vorderen Ende offen. Dieses Ende ist mehr oder weniger aufgetrieben, bis die Reproduktion, die hier eintreten soll, zustande gekommen ist. Nie habe ich ein unteres Stück gesehen, welches vor Beendigung dieser Reproduktion von der Stelle gekommen wäre. Anfangs sieht man die Spitzen von drei oder vier Armen, welche am Rande des vorderen Endes hervortreten. Während diese wachsen, zeigen sich schon andere in den Zwischenräumen derselben; bevor

letztere völlig ausgewachsen sind, können die Tiere schon ihre Beute fangen. Diese Reproduktion richtet sich nach der Witterung. Ist es kalt, so erfolgt sie langsamer, in der Wärme geht sie schneller von statten. An sehr warmen Tagen habe ich die unteren Hälften nach 24 Stunden schon wieder Arme treiben sehen; nach zwei Tagen waren sie schon imstande zu fressen. Sobald die Schwanzhälfte einen Kopf bekommen, d. h. sobald der Mund sich gebildet hat und die Arme entstanden sind, sieht sie ebenso vollkommen aus wie die vordere Hälfte, ja wie ein Polyp, der nie zerschnitten gewesen, und beide können nun als vollkommene Polypen betrachtet werden, denn sie habe alle diesen Tieren zukommenden Eigenschaften. Sie machen alle Bewegungen, deren das Tier fähig ist; sie fangen ihre Beute, ernähren sich, wachsen und pflanzen sich fort.

Zerschneidet man den Polypen näher am Kopf- oder am Schwanzende, so ist der Erfolg derselbe; aus den Stücken werden ebenfalls vollständige Polypen.

Ich habe auch in demselben Augenblicke einen Polypen querdurch in drei und vier Stücke geteilt; alle diese Stücke sind wieder vollständige Polypen geworden. Das erste und letzte Stück der in drei oder vier Teile zerschnittenen Polypen verhalten sich den beiden Stücken eines quer durchschnittenen Polypen gleich. Die Reproduktion aber in den Mittelstücken, nämlich im zweiten eines in drei Teile und im zweiten und dritten eines in vier Teile geschnittenen Polypen, ist eine doppelte; denn dies sind Stücke, die weder Kopf noch Schwanz haben, aber beides bekommen sollen. Solches erfolgt auch wirklich in kürzerer oder längerer Zeit, je nach den Umständen.

Nachdem ich viele Polypen quer durchgeschnitten hatte, nahm ich mir vor, einen der Länge nach zu halbieren. Dies ist freilich etwas schwerer, aber man kann bei einiger Geschicklichkeit doch zu seinem Zwecke gelangen. Ich lege den Polypen, den ich der Länge nach zerschneiden will, mit etwas Wasser in meine linke hohle Hand, alsdann ziehe ich ihn mit der Pinselspitze an den Rand des Tropfens, bis er auf meiner Hand liegt. Er ist dann der Handfläche platt angedrückt, so dafs sich die Schere leicht anwenden läfst, ohne ihn sonderlich zu bewegen. Habe ich auf diese Weise den Polypen zerschnitten, so bringe ich mit einer nassen Pinselspitze die beiden Stücke voneinander und breite sie auf meiner angefeuchteten Hand aus, um sie mit der Lupe bequem beobachten zu können. Jedes Stück scheint dann ein Streifen von der Haut des Polypen zu sein, an dessen einem Ende einige zu-

sammengezogene Arme sitzen. Ehe man sich's versieht, verwandelt sich der halbe Polyp in eine Röhre, deren Ränder zusammentreten und aneinanderwachsen. Dies findet so vollkommen statt, dafs man nachher nicht die geringste Narbe gewahr wird. Sobald die Ränder völlig verwachsen sind, sehen die Polypenhälften wieder wie ein vollkommener Polyp aus. Der ganze Vorgang nimmt gewöhnlich nur eine Stunde in Anspruch. Obgleich die Stücke der längs durchschnittenen Polypen nur einige Arme haben, können sie doch damit ihre Beute fassen. Ich erstaunte anfangs, als ich einige Tiere etwa 24 Stunden nach der Operation einen Wurm, so lang wie sie selbst, ergreifen und verschlingen sah. Später bemerkte ich, dafs sie schon drei Stunden nach der Operation wieder frafsen. Ich habe soeben gesagt, die aus den Stücken eines längs durchschnittenen Polypen entstandenen Tiere hätten nur einige Arme; bald sieht man aber an der Stelle, wo solche gesessen, wieder andere hervorwachsen, so dafs, wenn diese so lang als die anderen geworden sind, zwischen den durch Zerschneiden entstandenen und den unzerschnittenen Tieren nicht der geringste Unterschied mehr zu bemerken ist. Hierauf habe ich Polypen zu gleicher Zeit längs in vier Stücke geteilt; aus jedem dieser vier Stücke ist bald ein vollständiger Polyp geworden.

Man sieht, dafs man den Polypen nicht tötet, man zerschneide ihn, wie man wolle, sondern dafs man im Gegenteil aus einem viele machen kann. Ich schlitzte einen Polypen auf meiner Hand auf, breitete ihn aus und schnitt die Haut desselben kurz und klein, so dafs ich ihn gewissermafsen in lauter kleine Stücke zerhackte. Alle diese Stückchen, sie mochten Arme haben oder nicht, wurden wieder vollkommene Polypen.

Jetzt aber komme ich zu einem Versuche, der ebenso seltsam wie die vorigen ist. Er besteht in der Kunst, den Polypen umzukehren. Man erinnere sich, dafs der ganze Körper eines Polypen aus einer blofsen Röhre, einer Art Darm oder Sack besteht, der von einem Ende zum andern geht. Folglich kommt es darauf an, diesen Darm, woraus der Polypenkörper besteht, so umzukehren, wie man einen Sack, einen Strumpf oder einen Handschuh umzukehren pflegt. Solange ich Polypen mit leerem Magen umkehren wollte, habe ich nie zu meinem Zweck gelangen können; hingegen glückte es mir gleich, sobald ich sie vor dem Versuch gut gefüttert hatte, sodafs ihr Körper recht ausgedehnt war.

Ich beginne damit, dafs ich dem Polypen, den ich umkehren will, einen Wurm zu fressen gebe. Hat er denselben verschluckt,

so bringe ich ihn mit etwas Wasser in meine hohle linke Hand. Hierauf drücke ich ihn mit einem kleinen Pinsel am hinteren Ende und treibe dadurch den Wurm aus dem Magen nach dem Maule zu, bis ein Stück des Wurmes aus demselben herauskommt. Dann nehme ich eine ziemlich dicke und stumpfe Schweinsborste in die rechte Hand, bringe dieselbe an das hintere Ende des Polypen und stofse in den Magen hinein, was um so leichter von statten geht, da er hier leer und sehr erweitert ist. Hierauf drücke ich die Schweinsborste immer weiter voran; je weiter sie eindringt, um so mehr kehrt sich der Polyp um. Kommt die Borste bis an den Wurm, der das Maul des Polypen offen hält, so drückt sie diesen entweder heraus oder geht daneben aus dem Maule heraus und ist jetzt von dem hinteren Teile des Polypen bedeckt, der auf diese Weise umgekehrt ist. Es erübrigt nichts weiter als ihn jetzt von der Schweinsborste abzustreifen.

Alles, was ich jetzt beschrieben, habe ich in Gegenwart verschiedener Personen gethan, welche stets mit dem bewaffneten Auge den Polypen betrachteten, während ich ihn umkehrte. Sobald dies geschehen ist, verschliefst sich der Mund und selbst die Lippen treten etwas mit hinein. Später kehren sich die Lippen nach aufsen, als wenn sich der Polyp wieder umwenden und in seinen vorigen Zustand zurückkehren wollte. Dies versucht der Polyp auch in der That, und oft glückt es ihm. Ich habe solche gesehen, die sich binnen einer Stunde wieder umkehrten. Meine Hauptaufgabe war daher, sie umgekehrt zu erhalten, um zu sehen, ob sie auch in diesem Zustande leben könnten. Ich habe mir daher alle Mühe gegeben, dies ins Werk zu setzen. Ein sicheres Mittel besteht darin, dafs man das umgewendete Tier dicht hinter dem Kopfe mit einer Schweinsborste durchstöfst, denn es ist für einen Polypen nichts, aufgespiefst zu werden. Ich habe solches auf verschiedene Weise mit nicht umgekehrten Polypen gethan, ohne dafs es sie am Fressen uud an ihrer Vermehrung gehindert hätte. Die umgekehrten scheinen darunter ebensowenig zu leiden. Nun ist aber leicht einzusehen, dafs der Polyp durch die ihm quer durchs Maul gestofsene Schweinsborste verhindert wird, sich wieder umzukehren. Ich habe eine beträchtliche Anzahl Polypen umgewendet, welche in diesem Zustande geblieben sind und lange gelebt haben; sie haben gefressen, sind gewachsen und haben sich vermehrt.

27. Kant erklärt den Ursprung des Weltgebäudes. 1755.

J. Kant, Allgemeine Naturgeschichte und Theorie des Himmels.

Erster Teil und erstes Hauptstück des zweiten Teiles, auszugsweise[1]).

Immanuel Kant wurde den 22. April 1724 in Königsberg als Sohn eines Sattlers geboren und bezog 1740 die dortige Universität, an welcher er seit 1755 ein akademisches Lehramt bekleidete. Er hielt Vorlesungen über Philosophie, Physik, Mathematik und physische Geographie. Die allgemeine Naturgeschichte des Himmels ist die erste gröfsere Arbeit Kants, dessen Hauptwerk, die Kritik der reinen Vernunft, erst 1781 erschien. Kant starb am 12. Februar 1804 in seiner Vaterstadt. Näheres über die Kant-Laplace'sche Hypothese siehe Bd. II d. Grdr. (1. Aufl.) S. 332 u. 333.

Die Lehre von der allgemeinen Verfassung des Weltbaues hat seit den Zeiten des Huygens[2]) keinen merklichen Zuwachs gewonnen. Man weifs zur Zeit nichts mehr, als was man schon damals gewufst hat, nämlich dafs sechs Planeten mit zehn Begleitern, welche alle beinahe in einer Fläche umlaufen[3]), und die kometischen Kugeln, die nach allen Seiten ausschweifen, ein System ausmachen, dessen Mittelpunkt die Sonne ist, um welche ihre Bewegungen gehen und von welcher sie alle erleuchtet, erwärmt und belebt werden. Dafs endlich die Fixsterne, als eben so viel Sonnen, Mittelpunkte von ähnlichen Systemen sind, in welchen alles eben so grofs und eben so ordentlich wie in dem unse-

---

1) Allgemeine Naturgeschichte und Theorie des Himmels oder Versuch von der Verfassung und dem mechanischen Ursprunge des ganzen Weltgebäudes, nach Newtonischen Grundsätzen abgehandelt von Immanuel Kant. Als 12. Band von Ostwalds Klassikern der exakten Wissenschaften herausgegeben von A. J. von Oettingen. 2. Aufl. Leipzig, Verlag von Wilhelm Engelmann 1898.

2) Über Huygens Siehe S. 87 d. Bds.

3) Die sechs damals bekannten Planeten sind Merkur, Venus, Erde, Mars, Jupiter und Saturn. Der Uranus wurde 1781 von Herschel, der Neptun erst 1846 entdeckt. Die Neigungen der Planetenbahnen, d. h. die Winkel, welche die Ebenen dieser Bahnen (Zirkel) mit der Ebene der Erdbahn, der Ekliptik, bilden, betragen 1—7°. Die Neigungen der Planetoidenbahnen sind jedoch z. T. erheblich gröfser.

rigen eingerichtet sein mag, und dafs der unendliche Weltraum von Weltgebäuden wimmelt, deren Zahl und Vortrefflichkeit im Verhältnis zur Unermefslichkeit ihres Schöpfers steht.

Das Systematische, welches in der Verbindung der Planeten, die um ihre Sonnen laufen, stattfand, verschwand in der Menge der Fixsterne, und es schien, als wenn die gesetzmäfsige Beziehung, die im kleinen angetroffen wird, nicht unter den Gliedern des Weltalls im grofsen herrsche; die Fixsterne bekamen kein Gesetz, durch welches ihre Lagen gegen einander eingeschränkt wurden, und man sah sie alle Himmel ohne Ordnung und ohne Absicht erfüllen.

Jedermann, der den bestirnten Himmel in einer heiteren Nacht ansieht, wird denjenigen lichten Streifen gewahr, der durch die Menge der Sterne, die daselbst mehr als anderwärts gehäuft sind, ein einförmiges Licht darstellt, welches man mit dem Namen Milchstrafse benannt hat. Es ist zu bewundern, dafs die Beobachter des Himmels durch die Beschaffenheit dieser am Himmel kenntlichen Zone nicht längst bewogen wurden, besondere Bestimmungen in der Lage der Fixsterne daraus zu entnehmen. Denn man sieht diese Zone die Richtung eines gröfsten Kreises, und zwar in ununterbrochenem Zusammenhange, um den ganzen Himmel, einnehmen; zwei Bedingungen, die eine so genaue Bestimmung und von dem Unbestimmten des Ungefährs so kenntlich unterschiedene Merkmale mit sich führen, dafs aufmerksame Sternkundige natürlicher Weise dadurch hätten veranlafst werden sollen, der Erklärung einer solchen Erscheinung nachzuspüren.

Auch die übrigen Sterne, die in dem weifslichen Streifen der Milchstrafse nicht inbegriffen sind, werden doch um so gehäufter und dichter gesehen, je näher ihre Örter dem Kreise der Milchstrafse sind, sodafs von den 2000 Sternen, die das blofse Auge am Himmel entdeckt, der gröfste Teil in einer nicht gar breiten Zone, deren Mitte die Milchstrafse einnimmt, angetroffen wird.

Wenn wir uns nun eine ebene Fläche durch den Sternenhimmel hindurch in unbeschränkte Weiten gezogen denken und annehmen, dafs zu dieser Fläche alle Fixsterne und Systeme eine allgemeine Beziehung ihres Ortes haben, und zwar, dafs sie sich derselben näher, als anderen Gegenden befinden, so wird ein Auge, das dieser Beziehungsfläche nahe ist, bei seiner Aussicht in das Feld der Gestirne diese Häufung der Sterne in der Richtung der gezogenen Fläche unter der Gestalt einer erleuchteten Zone erblicken. Dieser lichte Streif wird nach der Richtung eines gröfsten

Kreises fortgehen, wenn der Stand des Zuschauers in der Fläche selbst ist. In dieser Zone wird es von Sternen wimmeln, welche durch die nicht zu unterscheidende Kleinheit der hellen Punkte, die sich einzeln dem Auge entziehen, und durch ihre scheinbare Dichtigkeit einen gleichförmig weifslichen Schimmer, mit einem Worte eine Milchstrafse darstellen. Das übrige Sternenheer, dessen Beziehung gegen die gezogene Fläche lockerer ist, oder welches sich auch dem Stande des Beobachters näher befindet, wird mehr zerstreut, doch, was die Zunahme der Häufung anbetrifft, zu eben dieser Fläche in Beziehung stehen. Endlich folgt hieraus, dafs unsere Sonnenwelt, weil von ihr aus dieses System der Fixsterne in der Richtung eines gröfsten Kreises gesehen wird, in eben der grofsen Fläche befindlich sei und mit den übrigen Fixsternen ein Ganzes ausmache.

Wenn ein System von Fixternen, welche in ihren Lagen sich auf eine gemeinschaftliche Fläche beziehen, so wie wir die Milchstrafse gedeutet haben, so weit von uns entfernt ist, dafs alle Kenntlichkeit der einzelnen Sterne sogar für das Fernrohr verschwindet, kurz, wenn eine solche Welt von Fixsternen in einem unermefslichen Abstande von dem Auge des Beobachters, das sich aufserhalb derselben befindet, angeschaut wird, so wird dieselbe unter einem kleinen Winkel als ein mit schwachem Lichte erleuchtetes Räumchen erscheinen, dessen Figur zirkelrund sein wird, wenn seine Fläche sich dem Auge geradezu darbietet und elliptisch, wenn es von der Seite gesehen wird. Die Schwäche des Lichtes, die Figur und die erkennbare Gröfse des Durchmessers werden ein solches Phänomen, wenn es vorhanden ist, von allen Sternen, die einzeln gesehen werden, gar deutlich unterscheiden.

Man braucht sich unter den Beobachtungen der Sternkundigen nicht lange nach diesen Erscheinungen umzusehen. Sie ist von verschiedenen Astronomen deutlich wahrgenommen worden. Die Nebelsterne sind es, welche wir meinen, oder vielmehr eine Gattung derselben, die Maupertuis[1]) wie folgt beschreibt:

„Es sind kleine, etwas mehr als das Finstere des leeren Himmels erleuchtete Plätzchen, die alle darin übereinkommen dafs sie mehr oder weniger offene Ellipsen vorstellen, aber deren Licht weit schwächer ist, als irgend ein anderes, das man am Himmel gewahr wird“. Der Verfasser der Astrotheologie bildete sich ein, dafs es Öffnungen im Firmamente wären, durch welche

[1]) Maupertuis (1698—1759). Discours sur la figure des astres, 1742.

er den Feuerhimmel zu sehen glaubte. Ein Philosoph von erleuchteteren Einsichten, der schon angeführte Maupertuis, hält sie in Betrachtung ihrer Figur und ihres erkennbaren Durchmessers für erstaunlich grofse Himmelskörper, die durch ihre durch die Drehung verursachte grofse Abplattung, von der Seite gesehen, elliptische Gestalten besäfsen.

Man wird leicht überführt, dafs diese letztere Erklärung gleichfalls nicht ausreicht. Da diese Art von Nebelsternen nämlich wenigstens ebensoweit wie die übrigen Fixsterne von uns entfernt sein mufs, so wäre nicht allein ihre Gröfse erstaunlich, da sie auch die gröfsten Sterne viele tausendmal übertreffen müfsten, sondern das wäre am allerseltsamsten, dafs sie bei dieser aufserordentlichen Gröfse das schwächste Licht zeigen sollten.

Weit natürlicher und begreiflicher ist es, dafs es nicht einzelne so grofse Sterne, sondern Systeme von vielen Sternen sind, deren Entfernung sie in einem so engen Raume darstellt, dafs das Licht, welches von jedem einzelnen unmerklich ist, bei ihrer unermefslichen Menge zu einem einförmigen blassen Schimmer sich vereinigt. Die Analogie mit dem Sternsystem, darin wir uns befinden, ihre Gestalt, welche gerade so ist, wie sie nach unserem Lehrbegriffe sein mufs, die Schwäche des Lichtes, die auf eine fast unendliche Entfernung hinweist, alles trifft zusammen, diese elliptischen Figuren für eben dergleichen Weltordnungen so zu sagen für Milchstrafsen zu halten, deren Verfassung wir eben entwickelt haben.

Nunmehr haben die beobachtenden Astronomen Beweggründe genug, sich mit diesem Gegenstande zu beschäftigen. Die Fixsterne, welche wir noch einzeln unterscheiden, beziehen sich also mit der unzählbaren Menge derer, die durch ihr vereinigtes Licht den Schimmer der Milchstrafse verursachen, auf eine gemeinschaftliche Fläche und bilden dadurch ein geordnetes Ganze, welches eine Welt von Welten ist. In unermefslichen Entfernungen giebt es mehr solcher Sternsysteme (Nebelsterne, Nebelflecken), und die Schöpfung ist in ihrem ganzen unendlichen Umfange ein sinnvoll zusammengefügtes Ganze.

Wenn man erwägt, dafs sechs Planeten mit zehn Begleitern, die um die Sonne als ihren Mittelpunkt Kreise beschreiben, alle nach einer Seite sich bewegen, und zwar nach derjenigen, nach welcher sich die Sonne selbst dreht, sowie dafs ihre Kreise nicht

weit von einer gemeinschaftlichen Fläche abweichen, nämlich von der vergröfserten Äquatorfläche der Sonne, so wird man bewogen zu glauben, dafs eine Ursache, welche es auch sei, einen durchgängigen Einflufs in dem ganzen Raume des Systems gehabt habe, und dafs die Eintracht in der Richtung und Stellung der Planeten eine Folge der Übereinstimmung sei, die sie alle mit derjenigen materiellen Ursache gehabt haben müssen, durch welche sie in Bewegung gesetzt worden sind.

Wenn wir andererseits den Raum betrachten, in dem die Planeten unseres Systems umlaufen, so ist er vollkommen leer und aller Materie beraubt, die eine Gemeinschaft des Einflusses auf die Himmelskörper verursachen und die Übereinstimmung in ihren Bewegungen nach sich ziehen könnte.

Newton, durch diesen Grund bewogen, konnte keine materielle Ursache verstatten, die durch ihre Erstreckung durch den Raum des Planetengebäudes die Gemeinschaft der Bewegungen unterhalten sollte. Er behauptete, die unmittelbare Hand Gottes habe diese Anordnung ohne die Anwendung der Kräfte der Natur eingerichtet.

Man sieht bei unparteiischer Erwägung, dafs die Gründe hier auf beiden Seiten gleich stark und beide einer völligen Gewifsheit gleich zu schätzen sind. Es ist aber auch eben so klar, dafs es einen Begriff geben mufs, unter welchem diese dem Scheine nach wider einander streitenden Gründe vereinigt werden können und sollen, und dafs in diesem Begriffe das wahre System zu suchen sei. Wir wollen ihn mit kurzen Worten anzeigen.

In der jetzigen Verfassung des Raumes, worin die Kugeln der ganzen Planetenwelt umlaufen, ist keine materielle Ursache vorhanden, die ihre Bewegungen einrichten könnte. Dieser Raum ist vollkommen leer oder wenigstens so gut wie leer; also mufs er ehemals anders beschaffen und mit Materie erfüllt gewesen sein, die vermögend war, eine Bewegung auf alle darin befindlichen Himmelskörper zu übertragen und sie mit der ihrigen, folglich alle untereinander übereinstimmend zu machen. Nachdem dann die Anziehung besagte Räume gereinigt und alle ausgebreitete Materie in besondere Klumpen vereinigt hat, müssen die Planeten nunmehr ihre Umläufe in einem nicht widerstehenden Raume frei und unverändert fortsetzen.

Ich nehme also an, dafs die gesamte Materie, aus welcher die Planeten und Kometen bestehen, im Anfang aller Dinge, in ihren elementarischen Grundstoff aufgelöst, den ganzen Raum des

Weltgebäudes erfüllt habe, in welchem jetzt diese entstandenen Körper herumlaufen. Dieser Zustand der Natur, wenn man ihn auch ohne Rücksicht auf ein System an und für sich selbst betrachtet, scheint mir der einfachste zu sein, der auf das Nichts folgen kann. Damals hatte sich noch nichts gebildet. Das System von einander entfernter Himmelskörper, ihre nach den Anziehungen geregelte Entfernung, ihre Gestalt, die aus dem Gleichgewichte der versammelten Materie entspringt, sind ein späterer Zustand. Die Natur, die unmittelbar an die Schöpfung grenzte, war so roh, so formlos wie nur möglich.

Bei einem auf solche Weise erfüllten Raume dauert die allgemeine Ruhe nur einen Augenblick. Die Elemente haben wesentliche Kräfte, einander in Bewegung zu setzen und sind sich selbst eine Quelle des Lebens. Die Materie ist sofort bestrebt, sich zu bilden. Die zerstreuten Elemente dichterer Art sammeln vermittelst der Anziehung aus einer Sphäre rund um sich alle Materie von geringerer spezifischer Schwere. Sie selbst aber samt der Materie, die sie mit sich vereinigt haben, sammeln sich in den Punkten, wo Teilchen noch dichterer Gattung befindlich sind, diese wieder zu noch dichteren und so weiter. Indem man also der sich bildenden Natur im Gedanken durch den ganzen Raum des Chaos nachgeht, wird man leicht gewahr, dafs die Folge dieser Wirkung zuletzt in der Bildung verschiedener Klumpen besteht, welche darauf auf immer unbewegt bleiben müfsten.

Allein die Natur hat noch andere Kräfte im Vorrate, welche sich vornehmlich äufsern, wenn die Materie in feine Teilchen aufgelöst ist. Diese Kräfte, welche bewirken, dafs die Teilchen einander zurückstofsen, rufen durch ihren Streit mit der Anziehung diejenige Bewegung hervor, welche gleichsam ein dauerhaftes Leben der Natur ist. Durch diese zurückstofsende Kraft werden die zu ihren Anziehungspunkten sinkenden Elemente, wenn der Widerstand, den sie im Fallen gegeneinander seitwärts ausüben, nicht genau von allen Seiten gleich ist, von der gradlinigen Bewegung seitwärts gelenkt, und der senkrechte Fall schlägt in Kreisbewegungen aus. Wir wollen, um die Bildung des Weltbaues deutlich zu begreifen, unsere Betrachtung von dem unendlichen Inbegriffe der Natur auf ein besonderes System einschränken, wie das zu unserer Sonne gehörige. Man wird alsdann von selbst nach der Analogie auf einen ähnlichen Ursprung der höheren Weltordnungen schliefsen und die Unendlichkeit der ganzen Schöpfung in einem Lehrbegriffe zusammenfassen können.

Wenn demnach ein Punkt in einem sehr grofsen Raume befindlich ist, wo die Anziehung der daselbst befindlichen Elemente stärker als an allen anderen Orten in der Umgebung wirkt, so wird der ringsum ausgebreitete Grundstoff sich zu diesem Punkte hinsenken. Die erste Wirkung dieser allgemeinen Senkung ist die Bildung eines Körpers in diesem Mittelpunkte der Anziehung, welcher so zu sagen von einem unendlich kleinen Keime, anfänglich langsam (durch die chemische Anziehung), darauf aber in schnellen Graden (durch die sogenannte Newtonische) fortwächst, aber in eben dem Verhältnisse, wie diese Masse sich vermehrt, auch mit stärkerer Kraft die umgebenden Teile zu vereinigen strebt.

Wenn die Masse dieses Centralkörpers soweit angewachsen ist, dafs die Geschwindigkeit, womit er die Teilchen aus grofsen Entfernungen zu sich zieht, durch die schwachen Grade der Zurückstofsung, womit sie einander hindern, seitwärts gebeugt wird und in Seitenbewegungen ausschlägt, so erzeugen sich grofse Wirbel von Teilchen, deren jedes für sich krumme Linien beschreibt. Indessen sind diese auf mancherlei Art unter einander streitenden Bewegungen natürlicherweise bestrebt, einander ins Gleichgewicht zu setzen, d. h. in einen Zustand, in welchem eine Bewegung der anderen so wenig wie möglich hinderlich ist. In diesem Zustande, da alle Teilchen nach einer Richtung und in parallellaufenden Kreisen, nämlich in freien Zirkelbewegungen, durch die erlangten Schwungkräfte um den Centralkörper laufen, ist der Streit und der Zusammenlauf der Elemente gehoben. Dieses ist die natürliche Folge, darin sich jedesmal eine Materie, die in streitenden Bewegungen begriffen ist, versetzt.

Indem die um die Sonne in parallelen Kreisen bewegten Elemente durch die Gleichheit der parallelen Bewegung beinahe in relativer Ruhe gegeneinander sind, verrichtet die Anziehung der daselbst befindlichen Elemente von überwiegender Attraktion hier eine beträchtliche Wirkung, die Sammlung der benachbarten Teilchen nämlich zur Bildung eines Körpers, der nach dem Mafse des Anwuchses seine Anziehung weiter ausbreitet und die Elemente aus weitem Umfange bewegt an seiner Zusammensetzung teilzunehmen. Die Planeten bilden sich demnach aus den Teilchen, welche kreisende Bewegungen haben, also werden die aus ihnen zusammengesetzten Massen eben dieselben Bewegungen, in eben dem Grade, nach eben derselben Richtung fortsetzen. Dieses ist genug, um einzusehen, woher die Bahnen der Planeten ungefähr kreisförmig und beinahe in einer Fläche gelegen sind.

---

28. Laplace entwickelt ähnliche Ansichten über den Ursprung des Weltgebäudes wie Kant. Kant-Laplace'sche Hypothese.

Laplace, Darstellung des Weltsystems. 1796.

Betrachtungen über das Weltsystem und über die zukünftigen Fortschritte der Astronomie[1]).

Pierre Simon Laplace, hervorragender französischer Astronom, der in seiner „Mécanique céleste“ (1799—1825) die theoretische Astronomie aufserordentlich förderte. Die „Exposition du Système du Monde“ erschien einige Jahre vor jenem Hauptwerk. Laplace wurde am 28. März 1749 geboren, er gehörte während der französischen Revolution der Kommission für Mafs und Gewicht an und starb am 5. März 1827. Näheres über ihn siehe Bd. II d. Grdr. (1. Aufl.) S. 323 u. f.

Lenken wir jetzt unseren Blick auf die Einrichtung des Sonnensystems und seine Beziehungen zu den Fixsternen. Die gewaltige Sonnenkugel, der Mittelpunkt der Bewegungen, dreht sich in $25^1/_2$ Tagen um ihre Axe. Ihre Oberfläche ist von einem Lichtmeere bedeckt, dessen lebhafte Aufwallungen veränderliche Flecken bilden, welche mitunter sehr zahlreich und bisweilen gröfser als die Erde sind. Aufserhalb dieser Lichthülle breitet sich eine ungeheuere Atmosphäre aus; jenseits derselben beschreiben die Planeten mit ihren Begleitern nahezu kreisförmige Bahnen, deren Ebenen nur wenig gegen den Sonnenäquator geneigt sind. Unzählige Kometen verlieren sich nach dem Verlassen der Sonnennähe in Weiten, welche uns beweisen, dafs der Einflufs der Sonne sich weit über die bekannten Grenzen des Planetensystems hinaus erstreckt. Dieses Gestirn wirkt nicht nur vermöge seiner Anziehung auf alle diese Kugeln, indem es sie zwingt, sich um dasselbe zu bewegen, es spendet ihnen auch sein Licht und seine Wärme. Die wohlthätige Wirkung der Sonne läfst Tiere und Pflanzen entstehen, welche die Erde bedecken, und die Analogie führt uns zu der

---

1) Nach der zweiten Auflage der „Exposition du Système du Monde par P. S. Laplace, Paris, An. VII“. 2. Bd. letztes Kapitel, übersetzt von Fr. Dannemann.

Annahme, dafs sie ähnliche Wirkungen auf den Planeten hervorruft. Es wäre doch unnatürlich zu glauben, dafs die Materie, deren Fruchtbarkeit wir unter so zahlreichen Formen sich entfalten sehen, auf einem solch grofsen Planeten wie dem Jupiter, der wie die Erde seine Tage, Nächte und Jahre aufweist, unfruchtbar sein sollte.

Der Mensch, welcher der irdischen Temperatur angepafst ist, würde allem Anschein nach auf den anderen Planeten nicht leben können. Sollte es aber nicht eine unbegrenzte Mannigfaltigkeit von Lebewesen geben, je nach der verschiedenen Temperatur der Himmelskörper? Wenn schon der alleinige Unterschied im Medium und im Klima den aufserordentlichen Formenreichtum in den Erzeugnissen unserer Erde bedingt, um wie viel gröfsere Unterschiede müssen dann die Bewohner der verschiedenen Planeten und Monde aufweisen. Auch die lebhafteste Phantasie kann sich davon keine Vorstellung machen; dennoch ist die Existenz solcher Lebewelten sehr wahrscheinlich.

Obgleich die Glieder des Planetensystems selbständig sind, weisen sie doch sehr merkwürdige Beziehungen zu einander auf, welche uns über den Ursprung des Systems aufklären können. Bei aufmerksamer Betrachtung sieht man mit Erstaunen, dafs sämtliche Planeten von Westen nach Osten um die Sonne laufen, und zwar fast in derselben Ebene. Die Monde bewegen sich um ihre Planeten im gleichen Sinne und fast in derselben Ebene wie die letzteren. Endlich Sonne, Planeten und Monde, deren Rotationsbewegung man beobachtet hat, drehen sich alle in einerlei Richtung um ihre Axe, und zwar geschieht dies fast in der Ebene ihrer Umlaufsbewegung. Eine solch aufsergewöhnliche Erscheinung kann kein Spiel des Zufalls sein; sie deutet auf eine gemeinsame Ursache hin, welche alle diese Bewegungen hervorgerufen hat.

Eine andere ebenso bemerkenswerte Erscheinung ist die geringe Excentricität der Planeten- und der Mondbahnen, während die Bahnen der Kometen sehr gestreckt sind; die Bahnen des Sonnensystems weisen somit keine Zwischenstufen bezüglich des Mafses der Excentricität auf. Wir sind auch hier gezwungen, das Ergebnis einer gesetzmäfsig wirkenden Ursache anzuerkennen; dem Zufall allein können nicht sämtliche Planeten eine nahezu kreisförmige Bahn verdanken.

Man hat also, um zur Ursache der Bewegungen des Planetensystems aufzusteigen, folgende fünf Erscheinungen zu berücksichtigen: 1. Die Umläufe der Planeten in derselben Richtung und fast

einerlei Ebene. 2. Die Umläufe der Monde, welche im gleichen Sinne wie diejenigen der Planeten erfolgen. 3. Die Rotationsbewegungen dieser verschiedenen Glieder des Sonnensystems geschehen in derselben Richtung wie die Umläufe und fast in derselben Ebene. 4. Die geringe Excentricität der Planeten- und der Mondbahnen. 5. Endlich die bedeutende Excentricität der Kometenbahnen.

Buffon ist meines Wissens der erste, der seit der Entdeckung des wahren Weltsystems versucht hat, auf den Ursprung der Planeten und Monde zurückzugehen. Er nimmt an, dafs ein Komet in seinem Falle auf die Sonne einen Strom Materie von derselben losgerissen habe, der sich nach seiner Entfernung zu gröfseren und kleineren von der Sonne verschieden weit abstehenden Kugeln zusammenballte.

Letztere seien die Planeten und die Monde, welche infolge der Abkühlung dunkel und fest geworden seien. Diese Hypothese genügt der ersten der fünf vorerwähnten Erscheinungen, denn es ist einleuchtend, dafs alle auf solche Weise entstandenen Körper sich ungefähr in derjenigen Ebene bewegen müssen, welche durch den Mittelpunkt der Sonne und den Weg des materiellen Stromes geht, der jene Körper erzeugt hat. Die vier anderen Erscheinungen können meines Bedünkens aus dieser Hypothese nicht erklärt werden; die geringe Excentricität der Planetenbahnen spricht geradezu gegen dieselbe. Man weifs aus der Theorie der Centralkräfte, dafs wenn ein Körper sich rings um die Sonne bewegt und dabei ihre Oberfläche streift, er bei jedem seiner Umläufe dahin zurückkehren mufs. Daraus würde folgen, dafs wenn die Planeten ursprünglich von der Sonne losgerissen worden wären, sie dieselbe nach jedem Umlauf berühren und demnach ihre Bahnen nicht kreisförmig, sondern stark excentrisch sein müfsten.

Sehen wir, ob es möglich ist, die wahre Ursache der oben erwähnten Erscheinungen zu ergründen.

Da diese Ursache die Bewegungen der Planeten und der Monde veranlafst oder geregelt hat, so mufste sie, welches auch ihre Natur war, sich auf alle diese Körper erstrecken. In Anbetracht der gewaltigen Zwischenräume, welche die letzteren trennt, kann sie nur in einem Fluidum von ungeheurer Ausdehnung bestanden haben. Sollte sie den Planeten fast kreisförmige, gleich gerichtete Bewegungen um die Sonne verleihen, so mufs man voraussetzen, dafs dieses Fluidum die Sonne wie eine Atmosphäre umgab. Die Betrachtung der planetaren Bewegungen führt uns also zu der Annahme, dafs die Sonnenatmosphäre sich uranfänglich über sämtliche

Planetenbahnen hinaus erstreckte und allmählich bis auf ihren jetzigen Umfang zusammengeschrumpft ist.

Die grofse Excentricität der Kometenbahnen führt zu demselben Ergebnis. Gegenwärtig kann es nur solche Kometen geben, welche sich zu jener Zeit aufserhalb dieser Atmosphäre befanden. Ihre Neigungen müssen eine solche Unregelmäfsigkeit aufweisen, als wären diese Körper auf's Geratewohl geschleudert worden, da wir der Sonnenatmosphäre keinen Einflufs auf ihre Bewegungen zuschreiben können. Wie aber hat dieselbe die Umlauf- und Rotationsbewegungen der Planeten hervorgerufen? Man kann vermuten, dafs diese Körper an den succesiven Grenzen jener Atmosphäre durch die Verdichtung der Zonen entstanden, welche sich in der Äquatorebene infolge der Abkühlung und Zusammenziehung bilden mufsten. Die Monde würden dann auf ähnliche Weise aus der Atmosphäre der Planeten entstanden sein. Die fünf vorhin aufgeführten Erscheinungen erklären sich ungezwungen aus dieser Annahme, welche durch die Saturnsringe eine weitere Stütze erhält.

Lenken wir jetzt unseren Blick über das Sonnensystem hinaus. Unzählige Sonnen, welche Centren ebensovieler Planetensysteme sein mögen, sind in dem unermefslichen Weltraum zerstreut. Ihre Entfernung ist so grofs, dafs der Durchmesser der gesamten Erdbahn von ihnen aus gesehen dagegen verschwindend klein ist. Mehrere dieser Sterne zeigen einen merkwürdigen periodischen Wechsel im Glanz und in der Farbe; andere sind plötzlich erschienen und wieder verschwunden, nachdem sie einige Zeit ein lebhaftes Licht ausgesandt hatten. Welche gewaltigen Vorgänge müssen sich auf der Oberfläche dieser grofsen Weltkörper abgespielt haben, um auf solche Entfernungen noch wahrnehmbar zu sein.

Die Bestimmung der veränderlichen Sterne, ihr periodischer Lichtwechsel, sowie die Eigenbewegungen aller Fixsterne, welche unter dem Einflusse ihrer gegenseitigen Anziehung und mutmafslich auch im Anfang erhaltener Stöfse, ungeheuere Bahnen beschreiben: Das werden bezüglich der Fixsterne die wichtigsten Probleme einer künftigen Astronomie sein.

Es hat den Anschein, als ob diese Weltkörper keineswegs gleichmäfsig durch den Raum zerstreut wären, sondern bestimmte Gruppen bilden, von denen jede aus Milliarden von Sternen besteht. Unsere Sonne und die hellsten Sterne gehören wahrscheinlich derjenigen dieser Gruppen an, welche von unserem Standpunkte betrachtet sich um den Himmel zu ziehen scheint und die

Milchstrafse bildet. Die grofse Zahl von Sternen, die man zu gleicher Zeit im Gesichtsfelde eines guten auf die Milchstrafse gerichteten Fernrohrs erblickt, spricht für die unermefsliche Tiefe dieser Schicht, welche die Entfernung des Sirius von der Erde tausendmal übertrifft. Entfernt man sich von ihr, so würde sie schliefslich als ein blasser, zusammenhängender, leuchtender Fleck von geringem Durchmesser erscheinen. Dann würde nämlich die Irradiation, welche auch bei den besten Fernröhren stattfindet, die Abstände der Sterne zum Verschwinden bringen. Es ist somit wahrscheinlich, dafs die Mehrzahl der Nebelflecken aus sehr grofser Entfernung gesehene Sterngruppen sind, und dafs man sich ihnen nur zu nähern brauchte, um sie unter einer Gestalt ähnlich derjenigen der Milchstrafse zu erblicken.

Es bleibt noch die Bahn der Sonne und des Schwerpunktes ihres Nebelfleckes zu bestimmen. Aber wenn es Jahrhunderte bedurfte, die Bewegungen des Planetensystems zu erkennen, welch gewaltige Zeitdauer wird dann die Bestimmung der Sonnen- und Fixsternbahnen erfordern? Mehrere Beobachtungen sprechen für die Annahme, dafs das Sonnensystem sich dem Sternbilde des Herkules nähert.

Auch in unserem eigenen System sind noch zahlreiche Entdeckungen zu machen. Der Planet Uranus und seine neuerdings entdeckten Monde lassen vermuten, dafs noch einige bisher nicht beobachtete Planeten existieren[1]). Es ist ferner bei mehreren Planeten und den meisten Trabanten noch nicht gelungen, die Rotation und die Abplattung zu bestimmen; auch kennt man noch nicht mit genügender Genauigkeit die Massen all dieser Körper.

Die Astronomie als Ganzes betrachtet ist das schönste Denkmal des menschlichen Geistes, die edelste Urkunde seines Verstandes. Bewogen durch die Täuschungen der Sinne und seinen Eigendünkel hat der Mensch sich lange für den Mittelpunkt der Bewegungen der Gestirne gehalten. Endlich zogen mehrere arbeitsvolle Jahrhunderte den Schleier fort, welcher das wahre Weltsystem verhüllte. Damit sah sich der Mensch auf einen Planeten angewiesen, der innerhalb der ungeheuren Ausdehnung des Sonnensystems unmerk-

[1]) Die Entdeckung eines Planeten jenseits des Uranus erfolgte erst 1846 durch Leverrier und Galle. Derselbe wurde Neptun genannt. Die Entdeckung des Planetoïdenringes zwischen Mars und Jupiter begann mit der Auffindung der Ceres durch Piazzi am 1. Januar 1801 Siehe Bd. II d. Grdr. (1. Aufl.) S. 326.

lich klein erscheint, während letzteres selbst wieder nur ein winziger Punkt gegenüber der Unermeſslichkeit des Weltraums ist.

---

29. Herschel begründet die Astronomie der Fixsterne.

W. Herschel, Nachricht über einige Beobachtungen, angestellt in der Absicht, den Bau des Himmels zu erforschen. 1784[1]).

Friedrich Wilhelm Herschel wurde am 15. November 1738 in Hannover als der Sohn eines armen, mit zahlreicher Familie gesegneten Musikers geboren. Als Mitglied der Kapelle eines Regimentes kam er nach England, wo er eine Organistenstelle erhielt. In seinen Muſsestunden fertigte Herschel Spiegelteleskope an. Die Entdeckung des Uranus (1781) hatte seine Ernennung zum königlichen Astronomen zur Folge. Während Kant sich vorzugsweise in Spekulationen über den Bau des Himmels erging (Siehe Abschnitt 27 d. Bds.), wurde Herschel durch richtige Verknüpfung von Denken und Beobachten zum eigentlichen Begründer einer Astronomie der Fixsterne.

Den Fixsternhimmel hat man sich bisher als eine Hohlkugel vorgestellt, in deren Mittelpunkt man sich das Auge des Beobachters dachte. Freilich selbst dann führt die Verschiedenheit in der Gröſse der Fixsterne auf die Vorstellung eines nach drei Abmessungen ausgespannten Firmamentes. Aber die Beobachtungen, über die ich jetzt reden werde, zeigen noch deutlicher die Notwendigkeit, den Himmel aus diesem Gesichtspunkte zu betrachten. In Zukunft wollen wir daher jene Räume, in welche wir mit Hülfe groſser Fernrohre einzudringen vermögen, so ansehen wie ein Naturforscher eine Kette von Bergen, in denen sich aus verschiedenen Stoffen gebildete Schichten von mannig-

---

[1]) Diese Abhandlung wurde am 17. Juni 1784 in der Royal Society gelesen und erschien in den Phil. Transact. vom Jahre 1784 unter dem Titel: On the construction of the heavens. Dem hier gegebenen Auszug wurde die von J. W. Pfaff herrührende Übersetzung zu Grunde gelegt. Siehe W. Herschel, Über den Bau des Himmels, Leipzig, Arnoldische Buchhandlung 1850 S. 72 u. f.

facher Neigung und Richtung befinden. Dementsprechend wird auch die Fläche einer Kugel oder einer Karte nur schlecht die inneren Teile des Himmels zur Darstellung bringen.

Als ich mein neuestes Fernrohr auf eine Gegend der Milchstrafse richtete, fand ich, dafs es den weifsen Schein völlig in kleine Sterne auflöste, was meine früheren Teleskope nicht vermochten. Das Stück der Milchstrafse, dessen Beobachtung mir bisher am gelegensten war, befindet sich unmittelbar um die Hand und die Keule des Orion. Die herrliche Menge Sterne von allen Gröfsen, die sich hier meinen Blicken darbot, war in der That staunenerregend. Da aber der blendende Glanz funkelnder Sterne leicht dazu verleitet, ihre Zahl zu überschätzen, so überzählte ich mehrere Felder und berechnete, was ein gegebenes Stück der Milchstrafse im Mittel an Sternen enthalten möchte. Unter mehreren Versuchen dieser Art fand ich, dafs sechs Felder ohne Wahl genommen 110, 60, 70, 90, 70. 74 Sterne enthielten. Das Mittel ergiebt 79 Sterne für das Feld. Da ferner der Durchmesser meines Gesichtsfeldes 15 Bogenminuten beträgt, so folgt, dafs ein Streifen von 15 Graden Länge und 2 Graden Breite, dessen Sternenmenge ich oft in einer Stunde durch das Gesichtsfeld meines Teleskopes habe wandern sehen, wohl nicht weniger als 50000 Sterne enthielt, die noch grofs genug waren, um sie deutlich zählen zu können. Aufser diesen Sternen vermutete ich wenigstens noch zweimal so viel, die ich aus Mangel an Licht nur dann und wann matt und unterbrochen aufschimmern sehen konnte.

Das vortreffliche Verzeichnis von Nebelflecken und Sternhaufen, welches neulich geliefert wurde[1]), führt mich zunächst auf einen Gegenstand, der eine neue Ansicht über den Himmel eröffnen mufs. Sobald mir dieses Verzeichnis zu Händen kam, richtete ich mein zwanzigfüfsiges Spiegelteleskop von 12 Zoll Öffnung auf diese Himmelskörper und sah zu meiner gröfsten Freude, dafs die meisten Nebelflecke, welche ich in geeigneten Stellungen untersuchen konnte, der Stärke meines Instrumentes unterlagen und in Sterne aufgelöst wurden. Es ergab sich, dafs sie entweder offenbar nichts als lauter Sterne waren; oder sie enthielten wenigstens Sterne und boten Merkmale dar, aus denen hervorging, dafs sie gänzlich aus Sternen bestehen. Ich habe sie sorgfältig unter An-

[1]) Über dies Verzeichnis von Messier lies Bd. II S. 331 dieses Grundrisses. Es erschien zum ersten Male 1771 und war seitdem vervollständigt worden, enthielt indes als Herschel seine Untersuchungen über den Bau des Himmels begann, erst etwa 100 Nummern.

wendung verschiedener Grade des Lichtes und der Vergröſserung und gewöhnlich im Meridian (also wenn sie kulminierten) untersucht. Bei den im Verzeichnis aufgeführten Himmelskörpern, welche dort „Nebel enthaltende Sternhaufen" genannt werden, löst mein Instrument auch den Teil, welcher „der Nebel" genannt wird, in Sterne von weit geringerer Gröſse auf. Auch den erwähnten „Nebelfleck ohne Stern", der sich nahe dem Haupthaar der Berenice [1]) befindet, erblickte ich als einen Haufen dicht gedrängter Sterne. Es ist dies einer der schönsten Gegenstände, die ich mich erinnere am Himmel gesehen zu haben. Der Haufen erscheint unter der Gestalt einer gediegenen Kugel von kleinen in einem einzigen Lichtglanz völlig zusammengedrängten Sternen samt einer Anzahl, welche ringsum stehen und in der Hauptmasse deutlich zu unterscheiden sind (siehe Figur 27).

Als ich die vorliegende Reihe von Beobachtungen begann, vermutete ich, daſs manche Nebelflecken noch unentdeckt geblieben seien. Ich gab mich daher der Hoffnung hin, zu den in dem angeführten Verzeichnis bereits beschriebenen Sternhaufen und Nebelflecken, die sich auf 103 beliefen, eine schätzbare Zugabe liefern zu können. Der Erfolg hat klar bewiesen, daſs meine Erwartungen wohl begründet waren, denn ich habe bereits 466 neue Nebelflecken und Sternhaufen gefunden, von denen keiner meines Wissens zuvor gesehen wurde. In der That, die meisten von ihnen lassen sich auch durch die besten Teleskope, die bisher im Gebrauch waren, nicht erkennen.



Fig. 27.
Herschels Abbildung eines Nebelfleckes [2]).

Merkwürdigerweise sind die Nebelflecken und Sternhaufen in Schichten geordnet, die sich weithin zu erstrecken scheinen. So ist die Milchstraſse ohne Zweifel nichts anderes als eine Schicht von Fixsternen, innerhalb deren sich die Sonne befindet, wenn auch nicht genau im Mittelpunkte dieser Schicht. Es läſst sich dies aus der Gestalt der Milchstraſse entnehmen, welche sich in einem gröſsten Kreise um den gesamten Himmel zu ziehen scheint, wie es sich ja verhalten muſs, wenn sich die Sonne innerhalb der

---

1) Nr. 53 des Verzeichnisses von Messier. Siehe die Übersetzung von Herschels Werk, Seite 491.

2) W. Herschel, Über den Bau des Himmels; übersetzt von J. W. Pfaff. Leipzig, 1850. Taf. I, Fig. 2. (Nr. 53 des Verzeichnisses von Messier).

Milchstrafse befindet. Denn angenommen, eine Anzahl Sterne sei zwischen zwei, in einem gegebenen Abstande einander parallel laufenden, weit ausgedehnten Ebenen angeordnet, welche Anordnung eine Sternschicht heifsen möge, so wird ein Auge, das sich irgendwo innerhalb einer solchen Schicht befindet, sämtliche zu ihr gehörigen Sterne perspektivisch in einem grofsen Kreise sehen. Letzterer wird nach Mafsgabe der Anhäufung der Sterne sich mehr oder weniger hell zeigen, während es scheinen wird, als ob die



Fig. 28. Herschels Ableitung der Gestalt der Milchstrafse[1]).

übrigen Gegenden des Himmels nur mit Sternbildern bestreut wären. Und zwar würden diese Sternbilder mehr oder weniger zusammengedrängt erscheinen, je nach der Zahl der Sterne, welche in der Dicke der Schicht enthalten sind.

So würde ein Auge bei S (siehe Fig. 28) innerhalb der Schicht a b die in der Richtung, in welcher die Schicht verläuft, befind-

[1]) W. Herschel, Über den Bau des Himmels; Taf. II. Fig. 16.

hen Sterne als einen hellen Kreis A B C D sehen, während die
erne an den Seiten m v, n w über den übrigen Teil des Himmels
i M V N W zerstreut erscheinen würden.

Stände ein Auge irgendwo aufserhalb der Schicht, so würden
e Sterne innerhalb der Schicht die Gestalt eines Kreises annehmen,
r nach Mafsgabe der Entfernung des Auges mehr oder weniger
ofs sein würde. Und nähme dieser Abstand über alles Mafs zu,
müfste die ganze Sternenschicht zuletzt in einen lichten Fleck
sammenschrumpfen, dessen Gestalt sich nach der Stellung, der
inge und der Höhe der Schicht richten würde.

Nehmen wir nun an, dafs eine kleinere Schicht aus der
steren nach einer bestimmten Richtung hin auslaufe und gleich-
lls von zwei parallelen Ebenen, die sich ins Unbestimmte aus-
hnen, eingeschlossen sei. Es befinde sich ferner das Auge in
r grofsen Schicht irgendwo vor der Abzweigung, jedoch nicht
it von der Stelle, wo die Schichten noch vereinigt sind. Als-
nn wird diese zweite Schicht nicht gleich der vorigen einen
inzenden Kreis darstellen, sondern wie ein lichter Zweig er-
heinen, der von dem Kreise ausgeht, und in einer gewissen Ent-
rnung, die aber kleiner als ein Halbkreis ist, zu demselben
ieder zurückkehrt. So werden in derselben Figur 28 die Sterne
der kleinen Schicht p q in einem hellen Bogen P R R P per-
ektivisch gesehen werden, der nach der Absonderung vom Kreise
B D sich mit demselben bei P wieder vereinigt.

Aus solchen Erscheinungen kann man folgern, dafs die Sonne
ch in einer von den grofsen Fixsternschichten befindet, und zwar
ler Vermutung nach nicht fern von der Stelle, wo eine kleinere
hicht als ein Zweig davon ausläuft. Eine solche Annahme kann
f eine höchst befriedigende und einfache Weise die sämtlichen
scheinungen der Milchstrafse erklären, welche dieser Annahme
folge nichts anderes ist als eine perspektivische Erscheinung der
dieser Schicht und ihrem Zweige enthaltenen Sterne. Was
s ferner bewegen mufs, die Milchstrafse aus diesem Gesichts-
akte zu betrachten, ist der Umstand, dafs ihr weifsliches Aus-
en ohne Zweifel aus dem vereinten Glanze der zahllosen Sterne
vorgeht, aus welchen sie besteht. Wollten wir uns nun die
chstrafse als einen Ring von Sternen vorstellen, in dessen
telpunkt wir dann die Sonne verlegen müfsten, so würde es
as ganz aufserordentliches sein, dafs die Sonne, welche ein
nsolcher Fixstern ist, wie jene, welche den vorgestellten Ring
smachen, sich gerade in dem Mittelpunkte eines solchen Ringes

von vielen Himmelskörpern befinden sollte, ohne dafs sich irgend ein Grund zu diesem sonderbaren Vorzuge absehen liefse. Dagegen müfste nach unserer Annahme jeder Stern in dieser Schicht, wenn er nicht sehr nahe an ihrem Ende steht, seine eigene Milchstrafse haben, nur mit solchen Veränderungen in der Gestalt und dem Glanze derselben, wie es die besondere Lage eines jeden Sternes mit sich bringt.

---

30. Die Meteore werden als kosmische Massen erkannt. 1794.

Chladni, Über den Ursprung der von Pallas gefundenen und anderer ähnlichen Eisenmassen[1]).

Chladni wurde am 30. November 1756 in Wittenberg geboren und starb am 3. April 1827. Seine Hauptverdienste liegen auf dem Gebiete der Akustik, zu deren Begründern er zählt; aber auch die kleine Schrift über Meteore, aus welcher nachstehend die wichtigsten Abschnitte wiedergegeben werden, ist für das betreffende Teilgebiet der Astronomie von grundlegender Bedeutung. Die darin von Chladni entwickelte Ansicht, dafs die Meteore kosmischen Ursprungs seien, wurde zwar anfangs verlacht, bald aber allgemein anerkannt. Welch phantastische Erklärungen dadurch beseitigt wurden, geht aus der Abhandlung selbst hervor, die zugleich wichtige Nachrichten über beobachtete Meteorsteinfälle enthält.

Da die meisten bisherigen Behauptungen über den Ursprung der von Pallas in Sibirien gefundenen und einiger ähnlichen Eisenmassen[2]) mit den Eigenschaften und Fundumständen derselben gar nicht übereinstimmen, so dachte ich über eine andere Erklärungsart nach und kam endlich auf eine solche, welche sich mit den Eigenschaften und Ortsumständen dieser Massen vollkommen vereinigen läfst. Allem Anschein nach sind nämlich diese

---

[1]) Über den Ursprung der von Pallas gefundenen und anderer ihr ähnlichen Eisenmassen und über einige damit in Verbindung stehende Naturerscheinungen von E. F. F. Chladni. Riga 1794.

[2]) Die sogenannte Pallasmasse ist eine der gröfsten Meteoreisenmassen; sie wurde im Jahre 1749 von Pallas (1741—1811) in der Nähe des Jenissei gefunden und wog 1600 Pfund. Ein 1200 Pfund schweres Stück der Pallasmasse wird in Petersburg aufbewahrt.

Massen und der gefundene Stoff niedergefallener Feuerkugeln ganz einerlei. Alles, was man an letzteren vor und nach ihrem Niederfallen bemerkt hat, lehrt uns, dafs sie aus dichten Stoffen bestehen, die weder durch eine irdische Kraft in die Höhe geführt, noch aus den in der Atmosphäre befindlichen Teilen zusammengezogen sein können, sondern aus dem übrigen Weltraume zu uns gelangen.

Allgemeine Bemerkungen über Feuerkugeln.

Eine Feuerkugel ist eine ziemlich seltene Naturerscheinung. Eine feurige Masse, anfangs meist in der Gestalt eines hellen Sterns oder vielmehr einer Sternschnuppe, wird in einer beträchtlichen Höhe sichtbar, bewegt sich schnell in einer schräg niederwärts gehenden Richtung fort und nimmt dabei an Gröfse bis zu einem den Mond bisweilen übertreffenden scheinbaren Durchmesser zu, um endlich mit heftigem Getöse zu zerspringen.

Aus allen Umständen, welche ich der Reihe nach durchgehen werde, ergeben sich genug Gründe, wodurch die gewöhnlichen Erklärungsarten der Feuerkugeln aus der Nordlichtsmaterie, aus blofser Elektricität, aus der Anhäufung lockerer brennbarer Stoffe in den oberen Gegenden der Atmosphäre u. s. w. hinlänglich widerlegt und meine Behauptung bestätigt wird, dafs sie aus ziemlich dichten Stoffen bestehen, die nicht irdischen Ursprungs, sondern kosmische Körper sind.

Die Weltgegend, aus der die Feuerkugelu kommen, ist ganz unbestimmt, wie auch der Winkel, welchen ihre Bahn mit dem Horizont macht. Manche sind unter einem beträchtlichen Winkel gefallen, wie z. B. die vom 23 Juli 1762, andere sind fast mit dem Horizont parallel gegangen. Es folgt daraus, dafs aufser der Anziehungskraft der Erde noch eine andere Kraft auf sie gewirkt haben mufs.

Ihre Höhe ist immer sehr beträchtlich. Aus Berechnungen der Parallaxe[1]) fand man für die am 21. Mai 1676 erschienene Feuerkugel wenigstens $9^1/_2$ deutsche Meilen, für die vom 23. Juli 1762 bei der ersten Beobachtung 19, beim Zerspringen 4 Meilen.

Das Zerspringen mit heftigem Getöse scheint allen eigen zu sein; die einzelnen Stücke zerspringen bisweilen wieder. Das hierdurch hervorgerufene Getöse ist einige Male so heftig gewesen,

---

1) Das ist der Winkel, welchen die vom Orte des Aufleuchtens nach zwei Beobachtungspunkten gezogenen Linien bilden.

dafs Thüren und Fenster, ja ganze Häuser, wie bei einem Erdbeben, erschüttert worden sind. Am 23. Juli 1762 hat man dies Getöse in 20 deutschen Meilen Entfernung von dem Orte, über welchem die Feuerkugel zersprang, noch deutlich hören können.

Die Geschwindigkeit der Feuerkugeln kommt bisweilen der Geschwindigkeit der Erde oder anderer Weltkörper völlig gleich. Die vom 21. Mai 1676 durchlief in einer Sekunde wenigstens $^2/_3$, die vom 17. Mai 1719 wenigstens 5 deutsche Meilen.

Nachrichten über einige Beobachtungen.

Am 21. Mai 1676 kam eine Feuerkugel von Dalmatien her über das Adriatische Meer, ging quer über Italien, wobei man ein zischendes Geräusch hörte, und zersprang südwestlich von Livorno mit einem entsetzlichen Krachen. Die Stücke fielen ins Meer mit einem Geräusch, wie wenn glühendes Eisen in Wasser gelöscht wird. Ihre Höhe war wenigstens $9^1/_2$, ihre Geschwindigkeit 40 deutsche Meilen in der Minute.

Am 17. Mai 1719 erschien eine Feuerkugel in England[1]; sie durchlief 300 Meilen in einer Minute und zersprang mit einem schrecklichen Getöse, wodurch Thüren, Fenster und ganze Häuser erschüttert wurden.

Am 11. November 1761 sah man eine Feuerkugel[2]) in verschiedenen Gegenden Frankreichs; sie zersprang ungefähr über Dijon mit heftigem Getöse in sehr viele kleine Stücke; manche Personen glaubten Feuer neben sich gesehen zu haben. Ein Stück ist[3]) in ein Haus gefallen und dieses davon abgebrannt.

Am 23. Juli 1762 wurde eine Feuerkugel, welche Silberschlag in seiner „Theorie der am 23. Juli 1762 erschienenen Feuerkugel, Magdeburg 1764“ weitläufig beschrieben[4]), zuerst ungefähr senkrecht über der Gegend zwischen Leipzig und Zeitz in Gestalt eines kleinen Sternes sichtbar, nahm an scheinbarer Gröfse zu, ging über Wittenberg und Potsdam und zersprang einige

1) Von dieser giebt Halley Nachricht; Philosophical transactions, n. 360 S. 978.

2) Von der in der Histoire de l'académie des sciences, 1761, S. 28 Nachricht gegeben wurde.

3) Wie in den Mémoires de l'académie de Dijon, Bd. I. S. 42 erzählt wird.

4) Silberschlag (1721—1791), Oberbaurat und Mitglied der Akademie in Berlin, nahm an, dafs diese Feuerkugel aus den Dünsten der zahlreichen Leichen entstanden sei, welche im Sommer des Jahres 1762 die Schlachtfelder bedeckten. (!!)

Meilen hinter Potsdam mit einem schrecklichen Knall und darauf folgendem Getöse, sie soll auch während des Laufes gezischt haben. Ihr Licht ist sehr weifs und dem Blitze ähnlich gewesen und hat einen Umfang von wenigstens 60 deutschen Meilen erleuchtet. Das Krachen hat man 20 Meilen weit, z. B. in Bernburg, noch sehr stark gehört. Die Höhe war im Beginn der Beobachtung etwa 19 und beim Zerspringen über 4 Meilen.

Gründe gegen einige bisherige Erklärungsarten.

1. Manche haben vermutet, dafs die Feuerkugeln mit den Nordlichtern gleichen Ursprung haben möchten, und zwar hauptsächlich deswegen, weil eine ziemliche Anzahl von Nord nach Süd gegangen sind. Diese Vermutung wird aber schon dadurch widerlegt, dafs man auch viele Beispiele hat, dafs Feuerkugeln aus anderen Weltgegenden kamen.

2. Sieht man sie als einen Übergang der Elektricität aus einer damit überhäuften Gegend der Atmosphäre in eine andere, die deren weniger enthält, an.

Gegen diese Theorie ist hauptsächlich folgendes einzuwenden:

a) In einer Höhe von 19 und mehr Meilen sind wohl keine Materien vorhanden, in welchen sich die Elektricität so wie in den Gewitterwolken anhäufen könnte.

b) Feuerkugeln bewegen sich immer, Blitze aber nur selten in gerader Richtung fort.

c) Das Zerspringen mit heftigem Getöse.

d) Die bisweilen bemerkten mehrmaligen Explosionen und die Absonderung kleinerer Kugeln.

3. Silberschlag hat die Feuerkugeln in seiner „Theorie der 1762 erschienenen Feuerkugel“ aus öligen Dünsten zu erklären gesucht[1]), die von unten aufgestiegen seien und sich in der oberen Luft angehäuft haben sollen. Gegen diese Hypothese, welche sich wohl noch weniger mit einigem Schein von Wahrheit verteidigen läfst als die vorige, ist unter anderem folgendes zu erinnern:

a) Zu einer so beträchtlichen Höhe, wo die Luft viele tausendmal dünner ist als unten, können unmöglich so viele materielle Teile in Dunstgestalt geführt werden, wie zu einer solchen Zusammenhäufung erforderlich sind.

b) Eine blofse Zusammenhäufung von Dünsten würde nicht imstande sein, eine Bewegung hervorzurufen, welche die

[1]) Siehe Anm. Seite 156 [4]).

Geschwindigkeit einer Kanonenkugel wohl hundertmal übertrifft.

4. Maskelyne[1]) vermutet, dafs es bleibende dichte Körper sind, die sich um die Sonne bewegen. Hevel[2]) hat sie in seiner Kometographie als kometenartige Körper angesehen.

Bei dieser Verschiedenheit der Erklärungsarten ist es merkwürdig, dafs viele Naturforscher gern Naturerscheinungen aus dem erklären, womit sie sich besonders beschäftigt haben. Bergmann[3]) z. B., der sich bemüht, die Beschaffenheit des Nordlichts genauer zu erkunden, vermutet, dafs die Feuerkugeln mit diesem einerlei Ursprung haben möchten. Ein Erforscher der Elektricität hält sie für elektrische Erscheinungen. Die Astronomen Hevel und Maskelyne betrachten sie als kosmische Körper; ebenso wie manche Mineralogen, die viel in vulkanischen Gegenden gereist sind, vieles als ein Produkt des Feuers ansehen, was andere, die sich mehr in nichtvulkanischen Gegenden aufhielten, aus dem Wasser entstehen lassen[4]).

Feuerkugeln sind kosmische Körper.

Aus dem bisher Angeführten ergiebt sich mit einer Wahrscheinlichkeit, die an Gewifsheit grenzt:

1. Dafs der Stoff der Feuerkugeln ziemlich dicht sein mufs.

2. Dafs ein solch dichter Stoff sich nicht in einer so grofsen Höhe aus den in der Atmosphäre befindlichen Teilen zusammenziehen, noch durch irdische Kräfte hinaufgeworfen sein kann.

3. Dafs also der Stoff schon vorher im übrigen Weltraum vorhanden gewesen sein mufs und von dort auf unseren Planeten gelangt ist.

---

1) Maskelyne (1743—1811), bedeutender englicher Astronom und Leiter der Sternwarte zu Greenwich. Er ist vor allem dadurch bekannt geworden, dafs er im Jahre 1774 aus der Ablenkung, die ein Lot durch den Berg Shehallien in Schottland erfuhr, die Dichte des Erdkörpers bestimmte. Siehe Bd. II d. Grdr. (1. Aufl.) S. 240.

2) Hevel, 1611 in Danzig geboren, starb daselbst im Jahre 1687. Er verfertigte die ersten Mondkarten und beschrieb in seiner Kometographie 400 Kometen.

3) Bergmann (1735—1784), hervorragender schwedischer Naturforscher war Professor der Physik, Chemie und Mineralogie in Upsala und hat sich besonders um die chemische Erforschung der Mineralien verdient gemacht.

4) Man vergleiche mit dieser Bemerkung Chladnis, was Bacon über die Idole der Höhle sagt. Siehe Abschnitt 14 d. Bds., Seite 58.

Es ist also meines Erachtens die einzige der Natur in keiner Weise widersprechende, und überdies noch durch an dem Orte des Niederfallens gefundene Massen bestätigte Theorie dieser Naturerscheinung folgende:

Sowie erdige, metallische und andere Substanzen den Grundstoff unseres Planeten ausmachen, wovon das Eisen unter die Hauptbestandteile gehört, und wie auch andere Weltkörper aus ähnlichen oder vielleicht denselben Grundstoffen bestehen mögen[1]), ebenso sind auch viele zu kleineren Massen angehäufte Materien, welche mit keinem gröfseren Weltkörper in unmittelbarer Beziehung stehen, in dem Weltraume zerstreut. Sie bewegen sich in demselben, durch Wurfkräfte oder Anziehung getrieben, so lange fort, bis sie der Erde oder einem anderen Weltkörper nahekommen und, von deren Anziehungskraft ergriffen, darauf niederfallen. Bei ihrer äufserst schnellen Bewegung mufs notwendig infolge der heftigen Reibung der Atmosphäre eine sehr starke Hitze erzeugt werden, wodurch sie in einen geschmolzenen Zustand[2]) geraten und Dünste im Innern entwickeln, welche die Masse zum Zerspringen bringen.

Beispiele von an dem Orte des Niederfallens gefundenen Massen.

Bergmann[3]) äufsert in seiner physischen Erdbeschreibung den Wunsch, dafs man einmal Gelegenheit finden möchte, die Substanz einer niedergefallenen Feuerkugel zu untersuchen. Dieser Wunsch ist allem Anschein nach schon mehrere Male erfüllt worden; nur hat man immer die Naturerscheinung nicht für das gehalten, was sie wirklich gewesen ist.

Durch die Aussagen von sieben Zeugen, worüber von dem bischöflichen Konsistorium zu Agram, das die Sache durch Bevollmächtigte an Ort und Stelle untersuchen liefs, eine gerichtliche Urkunde abgefafst worden ist, wird bestätigt, dafs am 26. Mai 1751 um 6 Uhr nachmittags sich am Himmel eine feurige Kugel gezeigt habe. Dieselbe sei in der Agramer Gespanschaft zersprungen und in zwei Teilen, wobei man einen erst schwarzen, nachher vielfarbigen Rauch bemerkt habe, mit schrecklichem Getöse und mit solcher Gewalt herabgefallen, dafs die Erde wie bei

[1]) Eine Annahme, welche später durch die Spektralanalyse ihre Bestätigung gefunden hat. Siehe Abschnitt 67 b d. Bds.

[2]) Die Schmelzung ist indes nur eine oberflächliche.

[3]) Siehe Anm. 3) auf Seite 158.

einem Erdbeben davon erschüttert worden sei. Ein 71 Pfund schweres Stück sei auf einen 8 Tage zuvor gepflügten Acker gefallen, wo es 3 Klafter tief eingedrungen sei und eine Spalte von der Breite einer Elle verursacht habe. An der Spalte habe die Erde gleichsam ausgebrannt und grünlich geschienen. Ein anderes Stück von 16 Pfund Gewicht sei auf einer 2000 Schritt entfernten Wiese niedergefallen. Auch haben viele Leute in verschiedenen Gegenden des Königreichs die Zerteilung der Feuerkugel, sowie das Knallen und Krachen bemerkt. Beide Stücke schienen aus einerlei Materie zu bestehen, Das gröfsere ist nebst der Urkunde an das kaiserliche Naturalienkabinet in Wien geschickt worden, wo sich beides noch befindet. An diesem ganz aus gediegenem Eisen bestehenden Stück sind die Wirkungen der Hitze unverkennbar. Die Oberfläche ist voll kugeliger Eindrücke wie an der von Pallas gefundenen Masse.

Hierzu schreibt der Direktor des Wiener Naturalienkabinets: „Dafs das Eisen vom Himmel gefallen sein soll, mögen der Naturwissenschaft Unkundige glauben; aber in unseren Zeiten wäre es unverzeihlich, solche Märchen auch nur wahrscheinlich zu finden.“ Er sucht dann die Erscheinung durch einen Blitz zu erklären, da die Elektricität imstande sei, Metalloxyde zu Metallen zu reduzieren, während ich aus Gründen, die teils angeführt sind, teils in der Folge angeführt werden sollen, behaupte, dafs diese Massen wirklich als der Stoff einer Feuerkugel herabgefallen sind und nicht durch die Wirkung eines Blitzes entstanden sein können.

Es sind noch viele Nachrichten von herabfallenden Massen vorhanden, von denen freilich einige der älteren wegen der damals herrschenden Unwissenheit und Leichtgläubigkeit nicht sehr in Anschlag zu bringen sind[1]).

Die neueste sehr merkwürdige Nachricht von drei unter Donner herabgefallenen Massen, welche der Pariser Akademie der Wissenschaft im Jahre 1769 übersandt wurden, findet sich in der Histoire de l'Académie des sciences 1769. S. 20. Die beobachteten Umstände sind bei allen dreien die nämlichen gewesen, auch hat man die Massen heifs angetroffen. Alle drei waren einander ganz ähnlich, von der nämlichen Farbe und ziemlich dem nämlichen Korn; man konnte metallische und kiesige Teile unterscheiden; sie besafsen ferner eine harte eisenartige Rinde.

[1]) Chladni führt noch die Berichte des Plinius (hist. nat. II, 56), Cardanus und anderer an.

Die Akademie hat sich dahin geäufsert, sie halte die Übereinstimmung der an drei so entfernten Orten (Maine, Artois und Cotentin) beobachteten Thatsachen und die völlige Ähnlichkeit der Massen für hinlängliche Beweggründe, um die Beobachtung bekannt zu machen und andere Naturforscher zur Mitteilung weiterer Bemerkungen über diesen Gegenstand einzuladen.

Nachrichten über die Pallasmasse und einigen ähnlichen auf gleiche Art entstandenen Massen.

Die von Pallas[1]) in Sibirien gefundene und im dritten Bande seiner Reisen beschriebene Eisenmasse ist den erwähnten Massen in vieler Hinsicht so ähnlich, dafs sich wohl schon daraus mit allem Rechte auf eine gleiche Entstehung schliefsen läfst. Es wird solches auch durch den von Pallas angegebenen Umstand, dafs die Tartaren diese Masse als ein vom Himmel gefallenes Heiligtum angesehen haben, sehr begünstigt. Die Masse wurde im hohen Schiefergebirge zu Tage liegend gefunden. Sie wog 1600 Pfund, hatte eine ganz unregelmäfsige Gestalt und war von einer eisensteinartigen Rinde umgeben. Das Innere bestand aus geschmeidigem, löcherigen Eisen, dessen Zwischenräume mit einem harten, bernsteingelben Glase (Olivin) ausgefüllt waren.

Im südlichen Amerika[2]), in einer Gegend, wo 100 Meilen im Umkreise keine Eisenbrüche, ja nicht einmal Steine anzutreffen sind, fand man eine aus dem kreideartigen Boden hervorragende etwa 300 Centner schwere Masse vom geschmeidigsten, reinsten Eisen.

Chladni weist dann ausführlich nach, dafs diese Eisenmassen weder auf nassem Wege, noch durch die Wirkung des Blitzes entstanden sein können, auch nicht vulkanischen Ursprungs sind. Da sich die Eigenschaften solcher von Pallas und anderen gefundenen Massen am besten mit den an Feuerkugeln beobachteten Erscheinungen in Einklang bringen lassen, auch die örtlichen Umstände, unter welchen man derartige Massen gefunden hat, auf einen kosmischen Ursprung hinweisen, nahm Chladni mit Recht an, dafs dieselben mit den Feuerkugeln einerlei seien. Die Abhandlung bringt zum Schlufs aufser Vorschlägen zu weiteren Untersuchungen folgende Bemerkungen allgemeinerer Art:

Der Satz, dafs im Weltenraume aufser den Weltkörpern noch viele kleinere Anhäufungen materieller Teile vorhanden sind, wird

[1]) Siehe Anm. auf Seite 154.

[2]) In der Provinz Chaco.

vielleicht manchem unglaublich genug erscheinen, um deshalb die ganze vorgetragene Lehre zu verwerfen. Diese Unglaublichkeit beruht aber nicht auf Gründen, sondern darauf, dafs dieser Satz ungewöhnlich ist. Denn wenn man von jeder vorgefafsten Meinung absieht, so wird man finden, dafs der Satz: es sind aufser den Weltkörpern und dem Äther keine materiellen Teile im Weltraum vorhanden, ebenso willkürlich ist, als der: es sind deren vorhanden.

Sollte man etwa fragen, wie sie entstanden oder in einen solch isolierten Zustand gekommen sind, so wäre das fast dasselbe, wie die Frage nach der Entstehung der Weltkörper. Was man sich auch für Hypothesen bilden mag, so mufs man doch entweder annehmen, dafs die Weltkörper, abgesehen von Revolutionen auf ihrer Oberfläche, immer das gewesen sind und sein werden, was sie jetzt sind, oder dafs in der Natur Kräfte vorhanden sind, um Weltkörper und ganze Weltsysteme zu bilden, zu zerstören und aus ihrem Stoffe wieder neue hervorzubringen. Für letztere Meinung sprechen wohl mehr Gründe als für die erstere. Ein solches Entstehen der Weltkörper läfst sich aber wohl nicht anders denken, als dafs entweder materielle Teile, die vorher in einem lockeren Zustande zerstreut gewesen sind, sich durch die Anziehungskraft zu grofsen Massen angehäuft haben, oder dafs eine Zerstückelung einer gröfseren Masse stattgefunden hat. Es widerspricht nun keiner dieser beiden Hypothesen, wenn man annimmt, dafs viele materielle Teile sich mit keiner zu einem Weltkörper sich anhäufenden gröfseren Masse vereinigt haben, sondern getrennt geblieben sind. Dieselben würden dann, durch Anziehung oder Stofs getrieben, ihre Bewegung durch den unendlichen Weltraum fortsetzen, bis sie einem Weltkörper so nahe kommen, dafs sie, von der Anziehung desselben ergriffen, darauf niederfallen und Erscheinungen, wie die in dieser Abhandlung erwähnten, verursachen.

Es ist merkwürdig, dafs das Eisen der Hauptbestandteil der bisher gefundenen Massen ist, da man dasselbe nicht nur fast überall an der Oberfläche unserer Erde antrifft, sondern weil auch die magnetischen Erscheinungen auf einen beträchtlichen Vorrat dieses Metalls im Innern der Erde schliefsen lassen. Man kann daher vermuten, dafs das Eisen überhaupt zur Bildung der Weltkörper hauptsächtich beigetragen haben mag[1].

---

[1]) Auch diese Vermutung Chladnis ist später durch die spektralanalytische Untersuchung der Gestirne bestätigt worden. Siehe Abschnitt 67 b d. Bds.

Es ist auch, wenn die vorgetragene Lehre richtig ist, wahrscheinlich, dafs die anderen in manchen herabgefallenen Massen enthaltenen Stoffe, wie Schwefel, Kieselerde, Bittererde u. s. w. nicht unserer Erde allein eigen sind, sondern mit unter die allgemeinen Materalien zur Bildung von Weltkörpern rechnen[1]).

31. Die Wellentheorie findet einen hervorragenden Verfechter. 1760.

Eulers Briefe an eine deutsche Fürstin über verschiedene Gegenstände der Physik und Philosophie[2]).

Leonhard Euler wurde im Jahre 1707 in Basel geboren und entwickelte frühzeitig ein aufserordentliches mathematisches Talent. 1744 wurde er Mitglied der Königlichen Akademie zu Berlin, folgte jedoch 1766 einem Rufe der Kaiserin Katharina II. nach St. Petersburg, wo er 1783 starb. Seitdem sich die Naturwissenschaft dem experimentellen Studium der optischen Erscheinungen zugewandt hatte, standen sich zwei Ansichten über die Natur des Lichtes gegenüber, die Emanationstheorie Newtons, welche in den nachfolgenden Briefen Eulers erörtert wird, und die Wellen- oder Undulationstheorie von Huygens (Siehe 19). Euler stellte sich in einer Reihe von Abhandlungen (Denkschriften der Berliner Akademie von 1746 bis 1752) auf die Seite des letzteren. Trotzdem blieb Newtons Ansicht die herrschende, bis Fresnel 1820 die Polarisation des Lichtes durch die Annahme tranversaler Ätherschwingungen erklärte. Näheres siehe Bd. II. d. Grdr. (1. Aufl.) S. 343.

1) Neuere Untersuchungen haben zu dem Ergebnis geführt, dafs sich mehr als 20 Elemente, die sämtlich auch an der Zusammensetzung der Erde beteiligt sind, als Bestandteile der Meteoriten nachweisen lassen. Die Annahme Chladnis, dafs das Universum im wesentlichen überall die gleiche chemische Zusammensetzung hat, steht auch mit der Kant-Laplace'schen Hypothese (Siehe 27 und 28) im Einklang und hat durch die moderne Astrophysik ihre Bestätigung gefunden.

2) Aus Eulers „Lettres à une Princesse d'Allemagne sur quelques sujets de physique et de philosophie. Petersburg 1768", übersetzt von Friedrich Dannemann. Die Briefe sind an eine Herzogin von Anhalt-Dessau, eine Nichte Friedrichs des Grofsen, gerichtet, welche Euler aufgefordert hatte, sie in der Physik zu unterweisen.

Dritter Brief.

d. 26. April 1760.

Die Belehrung über die verschiedenen Grade von Geschwindigkeit führt mich zur Betrachtung des Tones oder irgend eines Geräusches überhaupt. Ich teilte mit, dafs immer einige Zeit vergeht, bevor ein Ton zu unseren Ohren gelangt und zwar umso mehr Zeit, je weiter der Ort, wo der Ton hervorgerufen wird, von uns entfernt ist, sodafs der Schall, um sich auf eine Entfernung von 1000 Fufs fortzupflanzen, eine Sekunde braucht.

Diese Eigentümlichkeit führt uns auf die Frage, worin der Schall besteht, ob sich derselbe z. B. mit dem Geruche vergleichen läfst, d. h. sich in derselben Weise von dem tönenden Körper ausbreitet, wie eine Blume ihren Duft aussendet, indem sie die Luft mit feinen Ausdünstungen erfüllt und dadurch unseren Geruchssinn erregt. Man mag diese Vorstellung im Altertum gehabt haben, aber gegenwärtig sind wir durchaus überzeugt, dafs, wenn eine Glocke geläutet wird, nichts davon ausströmt, das in unsere Ohren gelangt; mit anderen Worten, dafs kein tönender Körper etwas von seiner Substanz verliert. Man braucht nur eine Glocke, wenn sie angeschlagen, oder eine Saite, wenn sie gestrichen ist, genau zu betrachten, und man wird bemerken, dafs diese Körper sich dann in einem Zustand der Erschütterung befinden, der sich auf alle ihre Teile erstreckt. Jeder Körper, der einer solchen Erschütterung seiner Teile fähig ist, vermag auch einen Ton zu erzeugen.

An einer Saite, welche nicht allzu klein ist, kann man diese Schwingungen sehen. Es ist nun zu beachten, dafs die letzteren die benachbarte Luft in eine ähnliche Bewegung versetzen, die sich allmählich auf die entfernteren Luftteilchen fortpflanzt, bis sie unser Gehörorgan trifft. Die Luft also ist es, welche die Schwingungen empfängt und den Ton bis zu unseren Ohren trägt. Hören wir den Ton einer gestrichenen Saite, so erhält unser Ohr soviel Schläge, wie die Saite Schwingungen in derselben Zeit gemacht hat. Macht z. B. die Saite 100 Schwingungen in einer Sekunde, so empfängt das Ohr auch 100 Stöfse in derselben Zeit, und die Wahrnehmung dieser Stöfse nennt man einen Ton. Folgen diese Stöfse gleichmäfsig aufeinander, d. h. in gleichen Intervallen, so ist der Ton ein regelmäfsiger und ein solcher, wie man ihn in der Musik fordert; wenn aber die Stöfse ohne Regel aufeinander folgen, mit anderen Worten ihre Intervalle ungleich sind, so geht daraus ein Geräusch hervor, das zur Verwendung in der Musik

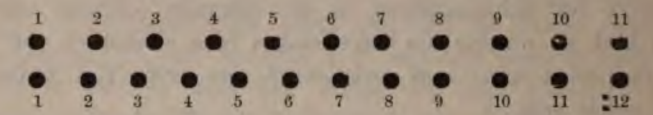
gänzlich ungeeignet ist. Betrachten wir nun etwas eingehender die musikalischen Töne, deren Schwingungen gleichmäfsig vor sich gehen, so bemerken wir zuerst, dafs wenn die Schwingungen und infolgedessen auch die Erschütterungen, von denen das Ohr getroffen wird, mehr oder weniger kräftig sind, daraus keine andere Veränderung hervorgeht, als dafs der Ton mehr oder weniger laut wird; und darin eben besteht die Verschiedenheit, welche die Musiker durch die Worte forte und piano bezeichnen. Ein viel wichtigerer Unterschied aber wird dadurch hervorgerufen, dafs die Schwingungen schneller oder langsamer erfolgen. Wenn z. B. eine Saite 100 Schwingungen in der Sekunde vollführt und eine andere 200, so werden die betreffenden Töne wesentlich von einander verschieden sein; und zwar wird der erste Ton tiefer, der zweite höher sein . . . .

Vierter Brief.

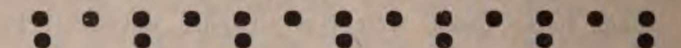
d. 29. April 1760.

. . . Wenn man einen einfachen musikalischen Ton vernimmt, so wird, wie ich erwähnte, unser Ohr von Erschütterungen getroffen, welche in gleichen Intervallen aufeinander folgen. Die einer bestimmten Zeit entsprechende Anzahl von Erschütterungen bewirkt ferner den Unterschied, der zwischen den tiefen und hohen Tönen stattfindet, dergestalt, dafs je kleiner diese Anzahl für eine gewisse Zeit, z. B. eine Sekunde ist, umso tiefer der Ton, und je gröfser die Anzahl, umso höher der Ton erscheint. Ein einfacher musikalischer Ton kann also mit einer Reihe gleich weit von einander entfernter Punkte verglichen werden. Sind die Abstände dieser Punkte mehr oder weniger grofs, so würde denselben ein tieferer, beziehungsweise höherer Ton entsprechen. Ohne Zweifel ist auch die Empfindung eines einfachen Tones dem Eindruck einer solchen Reihe gleich weit von einander entfernter Punkte ähnlich, und man kann auf diese Weise sichtbar machen, was das Ohr wahrnimmt, wenn wir einen Ton hören. Wären die Abstände der Punkte nicht gleich grofs, ihre Folge also regellos, so würde eine solche Reihe ein verworrenes, unharmonisches Geräusch zum Ausdruck bringen. Dies vorausgeschickt, wollen wir sehen, welche Wirkung zwei gleichzeitig erfolgende Töne haben werden. Zunächst ist klar, dafs wenn beide von gleicher Höhe sind, d. h. jeder auf derselben Anzahl Schwingungen beruht, das Ohr davon in gleicher Weise berührt wird wie von einem einzigen Ton. Die

Musiker sagen dann, beide Töne seien unisono. Dies giebt den einfachsten Akkord, wenn man als Akkord die Vereinigung zweier oder mehrerer Töne bezeichnet. Sind aber die beiden Töne verschieden hinsichtlich ihrer Höhe, so wird man ein Zusammentreffen zweier Folgen von Erschütterungen wahrnehmen. In derselben Folge sind die Intervalle gleich, aber in der einen gröſser als in der anderen, sodaſs jene Folge dem tieferen, diese dem höheren Ton entspricht. Ein solches Zusammentreffen von zwei Tönen läſst sich dem Auge folgendermaſsen durch zwei Punktreihen darstellen.



Um nun eine klare Vorstellung von diesen beiden Reihen zu haben, muſs man sich mit dem Gesetz, welches dieselben beherrscht, oder was dasselbe ist, mit dem Verhältnis der Zwischenräume innerhalb der beiden Reihen bekannt machen. Haben wir die Punkte der beiden Reihen nummeriert und die ersten Punkte untereinander gesetzt, so werden die mit 2 bezeichneten Punkte sich nicht mehr genau untereinander befinden und noch weniger die mit 3 bezeichneten. Aber man sieht, daſs die Zahl 11 der oberen Reihe genau mit der Zahl 12 der unteren zusammentrifft, woraus hervorgeht, daſs der höhere Ton 12 Schwingungen vollendet, während der andere deren nur 11 macht. Indessen hätten wir nicht die Zahlen hinzugesetzt, so würde das Auge wohl nicht diese Gesetzmäſsigkeit entdecken, und dasselbe ist der Fall mit dem Ohr, welches auch nur schwierig die Beziehung zwischen den beiden durch die Punktreihen dargestellten Tönen herausfinden würde. Aber in dieser Anordnung:



bemerkt man auf den ersten Blick, daſs die obere Reihe doppelt so viel Punkte enthält wie die untere, oder daſs die Zwischenräume der letzteren doppelt so groſs sind wie die der ersteren. Offenbar ist dies nach dem unisono der einfachste Fall. Unser Ohr wird ohne Schwierigkeit das harmonische Verhältnis, welches zwischen diesen beiden Tönen besteht, wahrnehmen, während es in dem vorhergehenden Falle nur schwer oder gar nicht aufgefaſst wird. Bemerkt nun unser Ohr leicht das Verhältnis, welches zwei Töne beherrscht,

so nennt man ihren Zusammenklang eine Konsonanz, ist dagegen dies Verhältnis sehr schwierig oder gar nicht wahrzunehmen, so nennt man den Akkord eine Dissonanz. Die einfachste Konsonanz ist aber diejenige, bei welcher der hohe Ton genau doppelt so viel Schwingungen wie der tiefe vollzieht. Diese Konsonanz wird in der Musik eine Oktave genannt; jedermann kennt den Eindruck, welchen sie hervorruft; ja zwei Töne, die genau um eine Oktave von einander abstehen, klingen so gut zusammen und erscheinen einander so ähnlich, dafs die Musiker sie mit demselben Buchstaben bezeichnen. Auch bemerken wir in der Kirche, dafs die Frauen eine Oktave höher als die Männer singen und dennoch glauben, dafs sie denselben Ton anstimmen. Man wird sich leicht von dem Gesagten auf einem Klavier überzeugen und den schönen Akkord zweier Töne, die um eine Oktave von einander abstehen, als etwas sehr Angenehmes empfinden, während zwei beliebige andere Töne nicht so gut zusammenklingen.

Siebzehnter Brief.

d. 7. Juni 1760.

Nachdem ich soviel von den Sonnenstrahlen gesprochen habe, welche die Quelle aller Wärme und des Lichtes sind, dessen wir uns erfreuen, wird man gewifs fragen: was sind denn eigentlich die Sonnenstrahlen? Das ist ohne Zweifel eins der wichtigsten Probleme der Physik, mit dem eine Menge von Erscheinungen zusammenhängen. Die Philosophen des Altertums scheinen sich wenig um die Beantwortung dieser Frage gekümmert zu haben. Die meisten begnügten sich damit zu sagen, die Sonne sei mit einer gewissen Eigenschaft zu erwärmen und zu leuchten ausgestattet. Aber man darf mit vollem Rechte fragen, worauf diese Eigenschaft beruht. Kommt etwas von der Sonne selbst, nämlich von ihrer Substanz zu uns? Oder geschieht etwas Ähnliches, wie bei der Glocke, deren Geläut wir hören, ohne dafs der geringste Teil derselben in unser Ohr gelangt, wie ich auseinandersetzte, als ich die Fortpflanzung und Wahrnehmung des Schalles erklärte. Descartes[1]), der erste unter den neueren Philosophen, vertrat letztere

[1]) René Descartes (Cartesius), hervorragender französischer Philosoph und Mathematiker, lebte von 1596—1650. Um die Bewegung der Planeten zu erklären, nahm er eine den Weltraum erfüllende Äthermaterie an, welche sich in einer Art Wirbelbewegung um die Centralkörper befinde; diese feine Materie erfülle auch die Zwischenräume der Körper und vermittle die Fortpflanzung des Lichtes.

Meinung. Er dachte sich das gesamte Weltall angefüllt mit einer feinen, aus kleinen Kugeln bestehenden Materie. Ferner versetzte er die Sonne in eine beständige Bewegung, welche sich ohne Aufhören auf die Kügelchen übertrage; letztere sollten dann ihre Bewegung in einem Augenblick durch die ganze Welt fortpflanzen. Seitdem man aber endeckt hat, dafs die Strahlen von der Sonne nicht in einem Augenblick zu uns gelangen, sondern, dafs sie etwa 8 Minuten gebrauchen, um diese grofse Entfernung zu durcheilen[1]), hat man die Ansicht des Descartes aufgegeben. Später hat der grofse Newton die erste Meinung wieder aufgenommen und behauptet, die Strahlen gingen wirklich vom Körper der Sonne aus, indem äufserst feine Teilchen von derselbeu mit solch ungeheuerer Geschwindigkeit fortgeschleudert würden, dafs sie in etwa acht Minuten bis zu uns gelangen. Diese Ansicht, welche heute die meisten Philosophen, zumal in England teilen, wird die Emanationstheorie genannt, weil man glaubt, dafs das Licht wirklich von der Sonne und den übrigen leuchtenden Körpern ausfliefse, etwa wie das Wasser aus einem Springbrunnen hervorsprudelt. Diese Annahme erscheint von vornherein sehr gewagt und vernunftwidrig; wenn nämlich die Sonne unausgesetzt und nach allen Richtungen solche Ströme von Lichtstoff mit einer solch wunderbaren Geschwindigkeit auswürfe, so müfste offenbar der Sonnenkörper dadurch bald erschöpft werden, oder man müfste wenigstens im Laufe der Jahrhunderte irgend eine Abnahme bemerken. Hiermit stehen aber die Beobachtungen nicht im Einklang. Gewifs würde ein Brunnen, der nach allen Seiten Wasser springen liefse, um so eher entleert sein, je gröfser die Geschwindigkeit desselben wäre; und so müfste es auch infolge der wunderbaren Geschwindigkeit der Lichtstrahlen dem Sonnenkörper ergehen. Mag man nun die Teilchen, aus welchen die Lichtstrahlen bestehen, noch so fein annehmen, man gewinnt damit nichts; diese Theorie ist und bleibt vernunftwidrig. Es genügt auch nicht einmal, dafs das Ausströmen rings herum nach allen Richtungen stattfände; denn man mag sich hinstellen, wohin man will, man sieht die Sonne vollständig. Diese Thatsache beweist unwiderleglich, dafs zu unserem Standpunkte Strahlen von allen Punkten der Sonne gelangen. Der Fall ist also sehr verschieden von dem eines Brunnens, selbst wenn derselbe Wasser

---

[1]) Dafs sich das Licht mit endlicher Geschwindigkeit fortpflanzt, entdeckte Olaf Römer (1644—1710). Siehe Abschnitt 19 d. Bds., sowie Bd. II d. Grdr. (1. Aufl.) Seite 201.

nach allen Richtungen hin ausströmen liefse. Hier gelangt von einem Punkte nur ein Strahl nach einer bestimmten Gegend, und jeder Punkt wird nicht mehr als diesen einen Strahl aussenden; was aber die Sonne anbetrifft, so schickt jeder Punkt ihrer Oberfläche eine Unzahl von Strahlen aus, die sich nach allen Richtungen hin ergiefsen. Dieser einzige Umstand würde die Vergeudung, welche die Sonne mit der Lichtmaterie machen müfste, ins Unendliche erhöhen. Aber es bleibt noch eine andere Schwierigkeit, welche nicht geringer zu sein scheint: nicht nur die Sonne sendet Strahlen aus, sondern auch sämtliche Sterne. Es wären also überall Strahlen der Sonne und der Sterne anzutreffen, welche aufeinander prallen müfsten. Mit welcher Heftigkeit würde dieser Anprall erfolgen, und wie sehr dadurch die Richtung verändert werden? Ein ähnliches Durchkreuzen fände auch bezüglich aller übrigen leuchtenden Körper statt, die man gleichzeitig sieht. Nun erscheint aber jeder deutlich ohne die geringste Störung seitens der übrigen; und das ist der beste Beweis, dafs mehrere Lichtstrahlen durch denselben Punkt gehen können, ohne sich gegenseitig zu hindern, was mit der Emanationstheorie unvereinbar zu sein scheint. Man lasse nur einmal zwei Wasserstrahlen aufeinander treffen, so wird man sehen, wie sehr sie sich in ihrer Bewegung stören, und daraus folgern, dafs die Art der Lichtstrahlen wesentlich verschieden ist von derjenigen der Wasserstrahlen, überhaupt einer in Wurfbewegung befindlichen Materie. Betrachtet man ferner die durchsichtigen Körper, welche das Licht unbehindert und nach allen Richtungen hindurchlassen, so müssen die Anhänger jener Meinung noch dazu annehmen, dafs diese Körper geradlinige Zwischenräume besitzen, die von jedem Punkte der Oberfläche nach allen Richtungen ausgehen. Zum Sehen selbst ist endlich erforderlich, dafs die Strahlen in unser Auge gelangen und die Substanz desselben mit ihrer ungeheuren Geschwindigkeit durchschneiden. Alle diese Ungereimtheiten werden, denke ich, genugsam überzeugen, dafs die Emanationstheorie unmöglich den Vorgängen in der Natur entsprechen kann; und man mufs staunen, dafs eine derartige Theorie von einem so hervorragenden Manne aufgestellt und von so vielen erleuchteten Geistern angenommen werden konnte.

Neunzehnter Brief.

d. 14. Juni 1760.

Wir haben soeben gesehen, dafs die Emanationstheorie unüberwindliche Schwierigkeiten im Gefolge hat. Gehen wir jetzt von der Annahme aus, dafs der Raum zwischen den Himmelskörpern mit einer äufserst feinen Materie erfüllt ist, die wir Äther nennen wollen. Um uns eine Vorstellung von demselben zu bilden, brauchen wir nur die Luft zu betrachten. Diese ist zwar schon in der Nähe der Erdoberfläche eine sehr feine Materie, wird aber um so dünner, je mehr man in die Höhe steigt, um sich endlich sozusagen ganz zu verlieren oder vielmehr in den Äther überzugehen. Letzterer ist also eine Flüssigkeit wie die Luft, aber unvergleichlich viel feiner und verteilter, da wir wissen, dafs die Himmelskörper ihn ungehindert durchschneiden, ohne in ihm einen merklichen Widerstand zu finden. Ohne Zweifel besitzt der Äther auch Elasticität, infolgedessen er sich nach allen Richtungen auszubreiten und jeden leeren Raum auszufüllen strebt, sodafs, wenn durch irgend einen Umstand der Äther von einem Orte entfernt würde, der benachbarte Äther sich augenblicklich dorthin stürzen und diesen Ort von neuem ausfüllen müfste. Infolge dieser Elasticität findet sich der Äther nicht nur in den höheren Regionen, aufserhalb unserer Atmosphäre, sondern er durchdringt dieselbe vollständig und dringt auch in die Zwischenräume aller irdischen Körper, sodafs er durch diese fast ungehindert hindurchgeht. Entfernt man also mittelst der Luftpumpe die Luft aus einem Gefäfse, so darf man nicht glauben, es befinde sich jetzt ein leerer Raum in demselben. Indem der Äther durch die Poren des Gefäfses tritt, erfüllt er dasselbe augenblicklich. Giefst man ferner Quecksilber in eine genügend lange Glasröhre und stellt daraus ein Barometer her, so glaubt man über dem Quecksilber einen leeren Raum zu erblicken, weil die Luft nicht durch das Glas dringen kann. Dieser scheinbar leere Raum ist aber gewifs mit Äther erfüllt, welcher ohne Schwierigkeit hineingelangt. Wir werden uns demnach eine hinreichend genaue Vorstellung vom Äther bilden, wenn wir ihn als flüssige der Luft ziemlich ähnliche Substanz betrachten, mit dem Unterschiede, dafs der Äther unvergleichlich viel feiner und viele Male elastischer ist als die Luft.

Da wir oben gesehen haben, dafs die Luft durch die nämlichen Eigenschaften geeignet ist, die Erzitterungen der tönenden Körper aufzunehmen und sie nach allen Richtungen fortzupflanzen,

worin ja der Schall besteht, so ist es sehr natürlich, dafs der Äther unter ähnlichen Umständen Erschütterungen empfangen und sie nach allen Richtungen auf viel gröfsere Entfernungen vermitteln wird. Wenn nun die Schwingungen der Luft den Schall zur Folge haben, was werden dann wohl die Erzitterungen des Äthers bewirken? Ich glaube, man wird es leicht erraten; es ist das Licht oder die Lichtstrahlen. Es ergiebt sich also, dafs das Licht rücksichtlich des Äthers dasselbe ist, was der Schall in Beziehung zur Luft bedeutet, und dafs die Lichtstrahlen nichts anderes sind als durch den Äther fortgepflanzte Erzitterungen, ganz wie der Schall auf den Schwingungen beruht, in welche die Luft versetzt wird. In Wirklichkeit kommt also nichts von der Sonne zu uns, ebensowenig wie von einer Glocke, wenn ihr Geläut unser Ohr trifft. Man braucht auch nicht zu fürchten, dafs dieser Himmelskörper, indem er Licht spendet, die geringste Einbufse an Substanz erleide, ebensowenig wie eine Glocke, welche läutet. Was von der Sonne gilt, gilt aber auch von allen leuchtenden Körpern, z. B. der Flamme einer Kerze. Man könnte hier vielleicht einwenden, dafs die irdischen Lichtquellen sich doch augenscheinlich verzehren, und dafs, wenn sie nicht unablässig unterhalten werden, ihr Licht bald erlischt. Danach könnte es scheinen, dafs die Sonne sich in gleicher Weise aufzehren müfste und der Vergleich mit einer Glocke sehr wenig angebracht sei. Wir müssen indes berücksichtigen, dafs unsere irdischen Lichtquellen nicht nur leuchten, sondern auch eine Menge Rauch und Ausdünstungen abgeben, die wir von den Lichtstrahlen wohl unterscheiden müssen. Nun bewirken Rauch und Ausdünstungen in diesem Falle ohne Zweifel einen beträchtlichen Verlust, den wir nicht den Lichtstrahlen zuschreiben dürfen. Könnte man nämlich den Rauch und die Ausdünstungen aufheben, so würde das blofse Leuchten keine Verminderung mit sich bringen. So kann man Quecksilber durch einen gewissen Kunstgriff in den leuchtenden Zustand versetzen, ohne dafs es an Substanz einbüfst[1]).

Man ersieht daraus, dafs blofses Leuchten durchaus keinen Gewichtsverlust herbeiführt. Obgleich also die Sonne die ganze Welt durch ihre Strahlen erhellt, giebt sie nichts von ihrer eigenen Substanz her. Ihr Licht wird vielmehr ausschliefslich durch eine gewisse Bewegung oder äufserst lebhafte Erzitterung ihrer kleinsten

[1]) Durch Schütteln des Quecksilbers in einer evakuierten Glasröhre. Es handelt sich hier um ein Phänomen der Reibungselektricität, welche in dem luftverdünnten Raume ein Licht erzeugt, das demjenigen der Geifsler'schen Röhre ähnlich ist.

Teilchen bewirkt. Diese teilt sich dem benachbarten Äther mit und wird von dort nach allen Richtungen bis auf die gröfsten Entfernungen hin fortgepflanzt, in derselben Weise wie eine schwingende Glocke der Luft eine ähnliche Bewegung erteilt. Je mehr man diesen Vergleich zwischen tönenden und leuchtenden Körpern ausführt, um so zutreffender und in Übereinstimmung mit der Erfahrung wird man ihn finden, während die Emanationstheorie in dem Mafse Schwierigkeiten bietet, wie man sie auf die Erklärung der Naturerscheinungen anwenden will.

---

32. Die Erfindung des Blitzableiters. 1753.

Franklin über das Gewitter und ein in Amerika zur Anwendung gelangendes Verfahren, Gebäude und Menschen gegen Blitzgefahr zu schützen[1]).

Benjamin Franklin wurde am 18. Januar 1706 zu Governors Island bei Boston als Sohn eines Seifensieders geboren und gehörte zur Klasse der self-made-men. Er hat sich durch seine politische Wirksamkeit grofse Verdienste um das Wohl der nordamerikanischen Republik erworben. Im Jahre 1746 sandte ein Londoner Kaufmann einige Gegenstände für elektrische Versuche an die Bibliotheksgesellschaft in Philadelphia, wo Franklin Buchdrucker war und eine Zeitung herausgab. Mit einem wahren Feuereifer widmete sich dieser darauf der Erforschung der elektrischen Erscheinungen. Seine Resultate teilte er in einer Reihe von Briefen mit, die für die weitere Entwicklung der Elektricitätslehre von grofser Bedeutung waren und ihrem Verfasser die Mitgliedschaft der Royal Society eintrugen. Der berühmte Versuch Franklins, mittelst eines Drachens den Gewitterwolken Elektricität zu entziehen, fand im Juni des Jahres 1752 statt. Im September 1753 (im 12. Briefe) erfolgte der Vorschlag, Gebäude durch Blitzableiter zu schützen. Franklin starb am 17. April 1790 in Philadelphia. Näheres über ihn siehe Bd. II d. Grdr. (1. Aufl.) S. 249 u. f.

---

[1]) Experiments and observations on electricity made at Philadelphia in America by Benjamin Franklin, London 1769. Übersetzung des 59. Briefes S. 479 u. f. von F. Dannemann.

Die über die Elektricität angestellten Experimente führten die Forscher sehr bald auf die Vermutung, dafs die Gewittermaterie und das elektrische Fluidum dasselbe seien. Die Versuche, welche darauf mit der aus den Wolken durch spitze Stäbe gezogenen und in Flaschen gesammelten Gewittermaterie angestellt wurden, haben dann den Beweis geliefert, dafs diese Vermutung vollkommen begründet sei, und dafs alle Eigenschaften, welche man der Elektricität zuschreiben mufs, eben so viele Eigenschaften des Gewitters sind.

Die Gewitter- oder elektrische Materie ist eine äufserst feine Flüssigkeit, welche die anderen Körper durchdringt und sich in ihnen gleichmäfsig verteilt aufhält.

Wenn es sich infolge eines künstlich herbeigeführten oder eines natürlichen Vorganges ereignet, dafs diese Flüssigkeit in dem einen Körper in gröfserer Menge vorhanden ist als in einem anderen, so teilt der Körper, welcher mehr davon enthält, sie demjenigen mit, der weniger besitzt, bis die Verteilung eine gleichmäfsige geworden ist, vorausgesetzt, dafs der Abstand zwischen ihnen nicht zu grofs ist. Oder gesetzt, er wäre zu grofs, wenn nur Leiter vorhanden sind, welche diese Materie von dem einen zum anderen Körper zu führen vermögen[1]).

Erfolgt die Mitteilung durch die Luft ohne Vermittlung eines Leiters, so sieht man eine glänzende Lichterscheinung zwischen den Körpern und vernimmt dabei ein Geräusch. Bei unseren kleineren Versuchen nennen wir dieses Licht einen elektrischen Funken und das Geräusch ein elektrisches Knistern. Bei den grofsartigen in der Natur stattfindenden Entladungen ist dieses Licht dasjenige, was wir Blitz nennen, und das Geräusch (welches zu gleicher Zeit erzeugt wird, wenn es auch gewöhnlich später zu uns gelangt) und sein Wiederhall ist der Donner.

Wenn der Ausgleich dieser Flüssigkeit durch einen Leiter stattfindet, so kann dieser Ausgleich ohne Licht und ohne Geräusch vor sich gehen, weil sich die feine Flüssigkeit in dem Stoff des Leiters fortbewegt.

Ist der Leiter gut und von hinreichender Gröfse, so geht die

---

[1]) Franklin nahm also nur ein einziges elektrisches Fluidum an; er entwickelte seine Ansichten in den „New Experiments" S. 54 ff. Franklins unitarische Theorie wurde durch die Theorie Symmers († 1763) verdrängt, nach welcher es zwei elektrische Fluida giebt, welche als positive und negative Elektricität unterschieden werden. Diese dualistische Theorie wird noch heute einer elementaren Erklärung der elektrischen Erscheinungen zu Grunde gelegt.

Elektricität durch denselben hindurch, ohne ihn zu beschädigen; wo nicht, so beschädigt sie ihn oder zerstört ihn sogar.

Alle Metalle und das Wasser sind gute Leiter. Andere Körper, wie Holz und die übrigen zu Bauten gebrauchten Materalien, vermögen, falls sie eine gewisse Menge Wasser enthalten, die Elektricität fortzuleiten. Enthalten sie aber nicht viel Wasser, so sind sie keine guten Leiter und werden daher oft bei einer Entladung beschädigt.

Glas, Wachs, Seide, Wolle, Haare, Federn und völlig trockenes Holz sind Nichtleiter, d. h. sie widerstehen dem Durchgange der Elektricität, anstatt ihn zu erleichtern. Wenn dieser Flüssigkeit zwei Leiter zur Verfügung stehen, von denen der eine ein guter, wie Metall, der andere aber weniger gut ist, so geht sie in den besseren und folgt ihm in jeder Richtung.

Die Entfernung, in welcher ein mit Elektricität geladener Körper sich plötzlich entladet, indem dieselbe durch die Luft auf einen anderen Körper überspringt, der nicht oder weniger geladen ist, ist verschieden grofs, je nach der Menge der Elektricität, der Gröfse und Gestalt der Körper, sowie der Beschaffenheit der dazwischen befindlichen Luft. Dieser Abstand wird die Schlagweite genannt. Erst wenn die Körper sich innerhalb derselben befinden, tritt Entladung ein.

Die Wolken enthalten oft mehr Elektricität als die Erde. In diesem Falle verläfst dieses Fluidum die Wolken und schlägt in die Erde, sobald sie nahe genug, d. h. in die Schlagweite kommen, oder sobald sie einen Leiter antreffen. Wenn eine stark mit Elektricität geladene Wolke zu hoch ist, als dafs sie innerhalb der Schlagweite sein könnte, so zieht sie ruhig ohne Schall- und Lichterscheinungen vorüber, es wäre denn, dafs sie eine Wolke anträfe, die weniger stark geladen ist.

Grofse Bäume und hohe Gebäude, wie Burgen und Kirchtürme, werden zuweilen zu Leitern zwischen den Wolken und der Erde; aber sie werden oft dabei beschädigt, weil sie keine guten Leiter sind, das heifst, weil sie die Elektricität nicht ungehindert durchlassen.

Gebäude, die mit Blei oder anderem Metall bedeckte Dächer und metallene Traufen haben, welche zur Ableitung des Wassers vom Dache bis in die Erde reichen, werden nie vom Blitze beschädigt, weil derselbe jedesmal, wenn er ein derartiges Gebäude trifft, in die Metalle und nicht in die Mauern schlägt.

Wenn andere Gebäude sich in der Schlagweite solcher Wolken befinden, so fährt die Elektricität in die Mauern, sie mögen aus Holz, aus Ziegeln oder Steinen bestehen, und verläfst sie nicht eher, bis sie bessere Leiter in der Nähe erreicht, wie metallene Stäbe, Riegel, Fenster- und Thürangeln, vergoldetes Tafelwerk oder Bilderrahmen, Quecksilber hinter den Spiegeln, Glockenzüge oder lebende Wesen; letztere sind leitend, weil sie wässerige Flüssigkeiten enthalten. Bei ihrem Wege durch das Haus folgt die Elektricität der Richtung dieser Leiter und benutzt alle diejenigen, welche ihr den Durchgang, sei es in gerader oder krummer Linie, erleichtern. Sie springt, wenn der Abstand nicht zu grofs ist, von dem einen auf den anderen über und beschädigt das Gemäuer nur dort, wo die guten Leiter zu weit von einander entfernt sind. Wird aufserhalb des Gebäudes ein eiserner Stab angebracht, der ununterbrochen von dem höchsten Teile bis in das feuchte Erdreich fort geht, einerlei, ob in gerader Richtung oder gebogen, so nimmt dieser Stab den Blitz an seinem oberen Ende auf, indem er ihn so anzieht, dafs er ihn von einem Einschlagen in andere Teile abhält, und bietet ihm eine gute Leitung bis in die Erde. Auf solche Weise wird die Beschädigung irgend eines Teiles des Gebäudes verhindert. Man hat gefunden, dafs eine geringe Menge Metall imstande ist, eine grofse Menge Elektricität fortzuleiten. Ein eiserner Draht, der nicht stärker als eine Gänsefeder war, vermochte eine Elektricitätsmenge fortzuführen, die an seinen beiden Enden eine schreckliche Zerstörung anrichtete. Es ist wahrscheinlich, dafs dickere Stäbe nicht erforderlich sind, obgleich man sie in Amerika einen halben, dreiviertel oder auch wohl einen ganzen Zoll stark zu machen pflegt.

Der Stab mufs an der Mauer, dem Schornstein u. s. w. mit eisernen Klammern befestigt werden. Der Blitz wird den Stab, der ein guter Leiter ist, nicht verlassen, um durch diese Klammern in die Mauer zu fahren, die ja die Elektricität schlecht leitet. Vielmehr würde dieses Fluidum, wenn sich davon etwas in der Mauer befände, in den Stab übergehen, um leichter durch diesen Leiter in die Erde zu gelangen.

Wenn das Gebäude sehr grofs ist, so kann man der gröfseren Sicherheit wegen zwei oder mehr Stäbe an verschiedenen Stellen errichten.

Das untere Ende des Stabes mufs so tief in den Boden geführt werden, dafs es eine feuchte Stelle erreicht. Wenn man den Stab dann biegt, um ihn horizontal sechs bis acht Fufs von der

Mauer fortlaufen zu lassen, und ihn dann wieder drei bis vier Fufs abwärts gehen läfst, so schützt er alle Steine des Fundamentes vor Beschädigung.

Fürchtet sich jemand sehr vor dem Gewitter, der sich während eines solchen in einem Hause ohne Blitzableiter befindet, so wird er gut thun, sich nicht in der Nähe des Kamins, eines Spiegels oder vergoldeter Gegenstände niederzusetzen. Der sicherste Platz ist inmitten der Stube (nur mufs es nicht unter einem metallenen, an einer Kette hängenden Kronleuchter sein), zumal wenn man sich dort auf einen Stuhl setzt und die Füfse auf einen anderen legt.

Noch sicherer würde es sein, zwei oder drei Matratzen oder Betten mitten in die Stube zu bringen, sie zusammenzulegen und den Stuhl darauf zu setzen. Da die Betten nämlich schlechter leiten als die Mauern, so wird der Blitz nicht durch die Luft des Zimmers darauf überspringen, sondern seinen Weg durch die Mauer, welche ein besserer Leiter ist, fortsetzen. Eine Hängematte, die an seidenen Schnüren in gleicher Entfernung von den vier Wänden, der Decke und dem Fufsboden hängt, verschafft die gröfste Sicherheit und scheint in der That gegen jede Blitzgefahr vollkommenen Schutz zu gewähren.

---

33. Die Entdeckung der elektrischen Influenz und der Pyroëlektricität. 1758.

Aepinus, von der Ähnlichkeit der elektrischen und magnetischen Kraft [1].

Aepinus, geboren 1724 zu Rostock, war Professor der Astronomie in Berlin, dann Mitglied der Akademie der Wissenschaften in Petersburg; er starb 1802 in Dorpat.

Dafs das Weltgebäude einen unendlich weisen Urheber hat, schliefsen wir vornehmlich daraus, dafs die Natur durch wenige und einfache Mittel unendliche und sehr zusammengesetzte Endzwecke zu erreichen gewohnt ist. Wer würde wohl, wenn er in der Naturlehre unwissend ist, glauben, dafs ein Knabe, der mit einem Stück Bernstein Spreu und andere leichte Sachen anzieht,

[1]) Aepinus, akademische Rede von der Ähnlichkeit der elektrischen und magnetischen Kraft. Leipzig 1760.

zugleich Donner und Blitz in seinen Händen hat. Halten es doch seit einiger Zeit die Forscher für ausgemacht, es sei ein und dieselbe Kraft, wodurch die Natur es zuwege bringt, daſs ein Stück Bernstein die Kinder ergötzt und eine von Donner und Blitz starrende Wolke einen sonst unerschrockenen Helden in Schrecken versetzt.

Unter denjenigen, welchen diese Gewohnheit der Natur bekannt ist, hat es Leute gegeben, denen beifiel, vielleicht kämen die magnetische und elektrische Kraft von einerlei oder doch ähnlichen Ursachen her. Es ist schon einige Jahre her, daſs ich auf gleiche Gedanken geraten bin und den Weg zu diesen Geheimnissen der Natur gesucht habe.

Wir haben dem emsigen und sinnreichen französischen Naturforscher du Fay[1]) die Erkenntnis zu danken, daſs es eine doppelte Elektricität giebt. Es war diese Einsicht wie gewöhnlich anfangs mangelhaft und unzureichend, indem dieser Mann dafür hielt, die eine Art der Elektricität sei dem Glase, die andere harzigen Körpern eigen, weil er jene zuerst nur am Glase, diese nur an harzigen Dingen wahrgenommen hatte. Jetzt wissen wir, daſs keine der beiden Arten von Elektricität einer oder der anderen Art der Körper wesentlich oder eigen ist, sondern daſs das Glas der harzigen Elektricität und die Harze der Glaselektricität fähig sind, ja daſs es keinen einzigen Körper giebt, dem nicht beide Arten der Elektricität mitgeteilt werden können. Nach der Entdeckung dieses Irrtums hatte man neue Namen nötig, damit nicht der Irrtum des Entdeckers zugleich mit den irrigen Bezeichnungen auf die Nachkommen gebracht würde. Die Naturforscher haben daher die früheren Benennungen fahren gelassen und die Elektricität in eine positive und eine negative eingeteilt, weil sie sahen, daſs Körper, welche mit dieser oder jener Art der Elektricität begabt sind, entgegengesetzte Wirkungen hervorbringen. Obgleich nämlich die positiv und negativ elektrischen Körper darin völlig übereinstimmen, daſs sie die mit Elektricität nicht versehenen Körper an sich

[1]) Charles François du Fay wurde 1698 in Paris geboren und starb daselbst 1739. Du Fay beschäftigte sich viel mit magnetischen und elektrischen Versuchen, welche in den Abhandlungen der Pariser Akademie vom Jahre 1733 bis 1737 beschrieben wurden. Das wichtigste Resultat seiner Untersuchungen läſst sich in folgende zwei Sätze zusammenfassen: 1. Ein elektrischer Körper zieht alle nicht elektrischen an und teilt ihnen Elektricität mit, worauf er sie wieder abstöſst. 2. Es giebt zwei entgegengesetzte Arten der Elektricität, die Glas- und die Harzelektricität.

ziehen, so sind sie doch in Ansehung der Wirkung gegen andere gleichfalls elektrische Körper ganz und gar von einander verschieden. Der positiv elektrische stöſst diejenigen von sich, welche der negativ elektrische an sich zieht; der letztere dagegen stöſst diejenigen ab, welche der erstere anzieht.

Was kann nun wohl Ähnlicheres gedacht werden als die Gesetze der magnetischen Kraft und die erwähnten Gesetze. Daſs es eine doppelte Art der magnetischen Kraft giebt, wie bezüglich der Elektricität, ist bekannt. Sowohl der nördliche wie der südliche Pol des Magneten ziehen ein nicht magnetisches Stück Eisen gleichmäſsig an. Dagegen zieht der nördliche Pol diejenige Seite eines anderen Magneten an sich, welche der südliche von sich stöſst, und hinwiederum zieht der südliche Pol die Seite an, welche der nördliche abstöſst. Es folgt somit der Magnet denselben Gesetzen, an welche die elektrischen Körper gebunden sind.

Es ist bisher kein Magnet, weder unter den aus der Erde gegrabenen noch unter den künstlichen, gefunden worden, der nur von einer einzigen Art der beiden erwähnten Magnetkräfte durchdrungen gewesen wäre; vielmehr ist nur allzu bekannt, daſs jeder Magnet beide Arten zugleich äuſsert. Während wir auf der einen Seite des magnetischen Körpers die magnetische Kraft, die man nördlich nennt, antreffen, finden wir auf der anderen Seite zwar auch eine magnetische Kraft, aber diese ist immer südlich und derjenigen entgegengesetzt, die auf der anderen Seite herrscht. Die elektrisierten Körper sind dagegen entweder ganz positiv oder ganz negativ elektrisch; doch meine man nicht, daſs sich die Ähnlichkeit mit den magnetischen hier gar nicht zeigen lieſse.

Es bietet sich mir hier zuerst jener wunderbare ceylonische Stein, der mich auf diese Untersuchung geführt hat. Er heiſst Turmalin; die Juweliere nennen ihn Aschentrecker oder Aschenzieher. Er ist hart, durchsichtig und hält ein starkes Feuer ohne Schaden aus, weshalb er unter die Edelsteine zu rechnen ist. Mit Hilfe vieler Versuche habe ich an diesem Steine eine doppelte Elektricität entdeckt und deutlich unterschieden, davon die erstere auf die gewöhnliche Art durch Reiben, die andere aber durch einen gewissen Grad der Wärme, die man dem Steine beibringt, erweckt wird.

Diejenige Elektricität, welche der Stein durch Reiben bekommt, ist von der Elektricität der glasartigen Körper gar nicht zu unterscheiden. Viel wundersamer ist die Elektricität, welche dem Steine durch die Wärme mitgeteilt wird. Nachdem er nämlich eine

Wärme, welche diejenige des Blutes um ein Geringes übertrifft, erhalten hat, wird er elektrisch, und zwar im Verhältnis zu seiner Gröfse sehr lebhaft. Es zeigt sich aber alsdann eine grofse Ähnlichkeit mit dem Magneten, weshalb ich auch des Steines hier Erwähnung gethan habe. Es ist nämlich beständig die eine Seite des erwärmten Aschenziehers positiv, die andere aber negativ elektrisch. Er hat also, wie der Magnet eine doppelte Magnetkraft besitzt, beide Arten der Elektricität zugleich [1]).

Doch ist dies nicht das einzige Beispiel. Nach Franklin wissen wir, dafs eine Leydener Flasche, wenn sie auf die gewöhnliche Art mit Elektricität geladen ist und auf einer gläsernen Unterlage ruht, auf ihrer inneren Fläche sowohl als auf ihrer äufseren Elektricität zeigt, doch so, dafs diese Elektricitäten einander entgegengesetzt sind [2]).

Nimmt man ferner von irgend einer elektrisierbaren Materie ein dünnes Plättchen und reibt dasselbe an einer seiner Flächen mit einem wollenen Tuche, während man an die andere Seite einen Finger bringt, so wird man finden, dafs beide Flächen Elektricität bekommen haben, jedoch wird die eine Fläche positiv, die andere negativ elektrisch sein.

Es ist bekannt, dafs der Magnet seine Kraft auch anderen aus Eisen bestehenden Körpern mitteilt, sowie dafs diese Verschwendung ohne allen Verlust geschieht. Man hat nämlich niemals bemerkt, dafs ein Magnet dadurch einen Abgang seiner Kräfte erlitten hätte, dafs er dem Eisen seine Kraft verliehen. Damit ich die Sache deutlicher mache, will ich annehmen, es werde ein Eisenstab an irgend einen Pol des Magneten gebracht, doch so, dafs er ihn nicht berührt. Dieser Stab erhält sogleich einige, allmählich aber eine ziemlich beträchtlich werdende Magnetkraft, wobei es zugleich scheint, als ob der Magnet gleichsam mit fremdem Gut verschwenderisch wäre und das, was er selbst nicht hat, verschenkt. Dasjenige Ende des Stabes, welches dem Pole des Magneten am nächsten ist, bekommt nämlich immer den Magnetismus, welcher dem des Pols, gegen den es gekehrt ist, entgegengesetzt ist. Das

---

[1]) Diese durch Erwärmung erregte Elektricität, welche an gewissen Krystallen auftritt, hat man als Pyroëlektricität bezeichnet. Bei der Abkühlung kehren sich die beiden Pole um; ist dagegen die Temperatur bleibend geworden, so ist der Krystall wieder unelektrisch.

[2]) Franklin, New Experiments and Observations on Electricity. London 1769. Franklin erwähnt diese Entdeckung in seinem dritten Briefe vom 1. September 1747.

andere Ende des Stabes dagegen erhält den Magnetismus, welchen der besagte Pol besitzt[1]).

Jetzt wollen wir sehen, was für Wirkungen die Elektricität unter ähnlichen Umständen hervorzubringen pflegt. Man denke sich einen Metallstab, der auf gläsernen Unterlagen liegt. An das eine Ende bringe man einen elektrisierten Körper heran, doch so, dafs der Stab von diesem nicht berührt wird, sondern in einiger Entfernung davon bleibt. Es ist aus unstreitigen Erfahrungen gewifs, dafs alsdann der elektrisierte Körper die Elektricität in dem benachbarten Stabe ebenso erweckt, wie der Magnet seine Kraft dem Eisen giebt, und dafs dabei ebendieselbe Regel statthat, nach welcher der Magnet wirkt. Dasjenige Ende des Metallstabes nämlich, welches dem elektrisierten Körper am nächsten ist, bekommt die entgegengesetzte, das entferntere Ende erhält dagegen dieselbe Elektricität, welche der Körper hat, mit dem man den Versuch macht[2]). Bringt man also an den Metallstab eine gläserne Röhre heran, welche durch Reiben positiv elektrisch ist, so wird das Ende des Stabes, welches gegen die Röhre gewendet ist, negativ, das andere Ende aber positiv elektrisch. Das Gegenteil aber ergiebt sich, wenn man anstatt der gläsernen Röhre einen Stab von Schwefel heranbringt, denn dieser bekommt durch Reiben negative Elektricität. Überdies ist die Ähnlichkeit der Erscheinungen so grofs, dafs hier eben das geschieht, was die Naturkundigen an dem Magneten so sehr bewundert haben. Denn sowohl die Versuche als die aus der Theorie gezogenen Schlüsse beweisen, dafs ein Körper durch eine solche Mitteilung von Elektricität keinen Abgang seiner Kräfte erleidet.

Bei einer geringen Abänderung der Versuche wird jedoch eine grofse Verschiedenheit der Erscheinungen wahrgenommen. Man bringe nämlich sowohl einen eisernen Stab dem Pole eines Magneten als auch einen metallenen, auf gläserner Unterlage befindlichen Stab einem elektrisierten Körper so nahe, dafs in beiden Fällen eine unmittelbare Berührung stattfindet. Man wird alsdann zwar bei dem Magneten noch das vorige Gesetz bemerken, denn das den Pol berührende Ende des eisernen Stabes wird immer den entgegengesetzten Magnetismus bekommen. Der zu elektrisierende Stab wird indes seiner ganzen Länge nach nur diejenige Art von Elektricität erhalten, welche derjenige Körper besitzt, mit dem er berührt wurde.

[1]) Magnetische Influenz.

[2]) Diese Erscheinung nennt man bekanntlich elektrische Influenz.

So wundersam auch die bisher betrachteten Eigenschaften des Magneten sind, so ist doch noch eine hervorragende übrig. Es ist jene bekannte Eigenschaft, welche dem Seefahrer den Weg durch das unermefsliche Weltmeer zeigt, indem das eine Ende einer frei beweglichen Magnetnadel sich allezeit gegen Norden, das andere gegen Süden richtet.

Zur Erklärung dieser Erscheinung denke man sich eine Magnetnadel, welche nach allen Seiten frei beweglich ist und sich in der Nähe eines anderen grofsen unbeweglichen Magneten befindet. Da die gleichnamigen Pole einander abstofsen, die ungleichnamigen dagegen sich gegenseitig anziehen, so wird eine Magnetnadel, wenn sie in den Wirbel des grofsen Magneten kommt, sich bestreben, eine solche Lage zu erhalten, bei welcher die anziehenden und abstofsenden Kräfte, die auf die Nadel wirken, im Gleichgewichte sind. Es ist aber aus den Beobachtungen der Seefahrer gewifs, dafs die Magnetnadel, wenn sie in verschiedene Gegenden der Erdoberfläche kommt, bald diese, bald eine andere Lage hat, und dafs der Wechsel dieser Lagen demjenigen völlig ähnlich ist, welchen die Nadel erfährt, wenn sie um einen Magneten herumgeführt wird. Hieraus schliefsen die Naturforscher, dafs der Erdball selbst mit magnetischer Kraft versehen ist und für einen grofsen, wenn auch schwachen Magneten zu halten sei. Man sieht also, dafs die Erscheinung der richtenden Kraft des Magneten nur von untergeordneter Art ist und gänzlich von der anziehenden und abstofsenden Kraft abhängt.

Wenn wir daher einen Vergleich der Elektricität mit dem Magnetismus bezüglich der richtenden Kraft anstellen wollen, so müssen wir annehmen, dafs ein Körper, welcher an einem Ende positiv, am anderen negativ elektrisch sei, um einen gewissen Punkt eine freie Bewegung habe und einem anderen, unbeweglichen, gleichfalls mit elektrischen Polen versehenen Körper nahe komme. Es ist klar, dafs die Veränderungen in der Lage des beweglichen Körpers mit denen, welche man bei der Magnetnadel bemerkt, völlig übereinstimmen müssen. Denn die Gesetze, an welche die elektrische Anziehung und Abstofsung gebunden sind, sind denen, welche bei dem Magneten statthaben, höchst ähnlich; ähnliche Ursachen müssen aber ähnliche Erscheinungen hervorbringen.

Man hat einige Male bemerkt, dafs der Blitz, wenn er in ein Schiff einschlug und die Magnetnadel oder den Seekompafs traf, diesen sehr in Unordnung brachte, ja zuweilen die Pole der Nadel ganz umkehrte. Dadurch wurde Franklin veranlafst, den Schlag

der Leydener Flasche durch einen eisernen Draht gehen zu lassen. Er fand, dafs derselbe sehr magnetisch geworden war. Es wäre leicht, hieraus auf eine Verknüpfung der Elektricität und des Magnetismus zu schliefsen und nicht nur eine Ähnlichkeit, sondern gar eine verborgene Gleichheit beider Kräfte zu mutmafsen. Da jedoch der elektrische Schlag die Teile des Körpers, durch den er geht, bis ins Innerste erschüttert, und da jede Erschütterung eines in gehöriger Lage gehaltenen Eisens den Magnetismus hervorbringt, so kann fast kein Zweifel bestehen, dafs es hier die blofse Erschütterung ist, welche den Magnetismus erregt.

Wir sehen, dafs die Ähnlichkeit der elektrischen mit den magnetischen Erscheinungen so grofs ist, dafs sie fast nicht gröfser sein kann. Was hindert uns also, nicht auch ähnliche Ursachen beider Kräfte anzunehmen, da es doch wahrscheinlich ist, dafs die Natur ähnliche Erscheinungen auf eine ähnliche Weise hervorbringt[1]).

---

34. Scheele entdeckt den Sauerstoff und analysiert die atmosphärische Luft. 1773.

Chemische Abhandlung von der Luft und dem Feuer von K. W. Scheele[2]).

Karl Wilhelm Scheele, 1742 in Stralsund geboren, wurde mit 14 Jahren Apothekerlehrling, dann Besitzer einer Apotheke zu Köping in Schweden, wo er 1786 starb. Scheele hat die Chemie mit einer Fülle neuer Beobachtungen und Entdeckungen bereichert. Allein seine Arbeiten über den Braunstein führten zur Entdeckung von Chlor, Mangan und Sauerstoff. Priestley stellte letzteres Element ein Jahr später (1774) als Scheele, und zwar aus rotem Queck-

---

[1]) Faraday gelang es, eine so weitgehende Verknüpfung der elektrischen und magnetischen Erscheinungen nachzuweisen, dafs beide heute als Äufserungen ein- und derselben Naturkraft gelten. Elektricität, Magnetismus, strahlende Wärme und Licht werden jetzt auf Grund von Maxwells elektromagnetischer Theorie des Lichtes sowie der Versuche von Hertz auf Bewegungen des Äthers zurückgeführt. Siehe Abschn. 69 d. Bds.

[2]) Ostwalds Klassiker der exakten Wissenschaften Nr. 58. Herausgegeben von W. Ostwald. Leipzig, Verlag von Wilhelm Engelmann 1894. Der Abdruck ist nach der zweiten 1782 erschienenen Auflage erfolgt. Die erste Auflage erschien 1777.

silberoxyd her. Die Abhandlung von der Luft und dem Feuer ist Scheeles Hauptwerk; nachfolgende Zeilen stellen einen Auszug der §§ 1—50 desselben dar. Näheres über Scheele siehe Bd. II d. Grdr. (1. Aufl.) S. 292 u. f.

Die Körper geschickt in ihre Bestandteile zu zerlegen, die Eigenschaften derselben zu entdecken und die Körper auf verschiedene Art zusammenzusetzen, ist der Hauptzweck der Chemie. Wie schwer es aber ist, dergleichen Verrichtungen mit der gröfsten Genauigkeit ins Werk zu setzen, kann nur demjenigen fremd sein, der diese Beschäftigung niemals oder doch nicht mit genügender Aufmerksamkeit unternommen hat. Bisher sind die Chemiker noch nicht darüber einig, aus wieviel Grundstoffen alle Körper zusammengesetzt sind, ja einige halten dafür, dafs die Elemente der Körper auszuforschen gar keine Hoffnung mehr übrig sei. Schlechter Trost für diejenigen, welche ihr gröfstes Vergnügen in der Untersuchung der natürlichen Dinge zu haben glauben! Andere nehmen an, dafs die Erde und das Phlogiston[1]) dasjenige sind, woraus die ganze körperliche Natur ihren Ursprung genommen habe. Die meisten scheinen den peripatetischen Elementen[2]) gänzlich zugethan zu sein. Man mufs über die vielen Ideen und Mutmafsungen staunen, welche die Schriftsteller in dieser Hinsicht aufgezeichnet haben, zumal wenn sie über die Erklärung der Feuererscheinung einen Ausspruch thun. Ich fing daher an, alle Erklärungen vom Feuer bei Seite zu setzen und unterzog mich einer Menge von Versuchen, um diese so herrliche Erscheinung so viel wie möglich zu ergründen. Ich merkte aber bald, dafs man ohne die Erkenntnis der Luft über die Erscheinungen, welche das Feuer darbietet, kein wahres Urteil fällen könne.

Die Luft ist eine flüssige, unsichtbare Substanz, welche wir beständig einatmen, welche den Erdboden überall umgiebt, sehr elastisch ist und eine gewisse Schwere besitzt. Sie ist beständig mit einer erstaunlichen Menge von allerlei Ausdünstungen erfüllt. Unter diesen fremden Bestandteilen hat der Wasserdunst das Übergewicht. Die Luft ist aber noch mit einem anderen elastischen luftähnlichen Körper vermischt, welcher in vielen Eigenschaften

---

1) Die Feuermaterie, welche nach der im 18. Jahrhundert geltenden Ansicht, der auch Scheele huldigte, einen Bestandteil aller brennbaren Körper bildete und bei der Verbrennung entweichen sollte. Das wahre Wesen der Verbrennung erkannte erst Lavoisier (Siehe den folgenden Abschn. dies. Bds.).

2) Feuer, Erde, Luft und Wasser.

von ihr abweicht und Luftsäure genannt wird[1]). Sie verdankt ihr Dasein den durch Fäulnis oder Verbrennung zerstörten organisierten Körpern. Nichts hat den Naturforschern seit einigen Jahren mehr zu schaffen gemacht als eben diese Säure oder sogenannte fixe Luft. Viele glauben, dafs die Luft an und für sich unveränderlich ist, dafs sie sich zwar mit Körpern verbinde und alsdann ihre Elasticität verliere, aber ihre frühere Natur wieder erhalte, sobald sie durch Feuer oder Gährung ausgetrieben werde. Da sie aber sehen, dafs diese hervorgekommene Luft mit ganz anderen Eigenschaften als die gemeine Luft begabt ist, so schliefsen sie ohne Erfahrungsbeweise, dafs diese Luft sich mit fremden Materien verbunden habe, und dafs man solche Luft durch Schütteln und Filtrieren mit verschiedenen Flüssigkeiten von solchen Beimengungen reinigen müsse. Ich glaube, dafs man kein Bedenken hiergegen tragen würde, wenn man nur durch Versuche deutlich darthun könnte, dafs eine gegebene Menge Luft durch Zumischung fremder Materien gänzlich in fixe oder eine andere Luftart sich verwandeln liefse. Da dies aber noch nicht geschehen ist, so hoffe ich nicht fehlzugehen, wenn ich so viele Arten Luft annehme, wie die Erfahrung mir zeigt.

Folgendes sind die allgemeinen Eigenschaften der gewöhnlichen Luft:

1. Das Feuer mufs eine gewisse Zeit in einer gegebenen Menge Luft brennen.

2. Wenn dieses Feuer während des Brennens kein der Luft ähnliches Fluidum von sich giebt, so mufs die Luftmenge, nachdem das Feuer von selbst ausgelöscht ist, um den dritten bis vierten Teil verringert sein.

3. Mufs sie sich mit dem Wasser nicht verbinden.

4. Alle Arten von Tieren müssen eine gewisse Zeit in einer abgeschlossenen Menge Luft leben.

5. Samen, wie z. B. Erbsen, müssen in einer gegebenen Menge Luft mit Hülfe von etwas Wasser und einer mäfsigen Wärme sowohl Wurzel schlagen, als auch eine gewisse Höhe erreichen.

Wenn ich folglich eine dem äufseren Ansehen nach der Luft ähnliche Flüssigkeit habe und finde, dafs diese die angeführten Eigenschaften nicht hat, oder dafs ihr auch nur eine fehlen sollte,

---

[1]) Gemeint ist Kohlendioxyd, CO_2, welches 0,03 % der atmosphärischen Luft ausmacht und mit Wasser die eigentliche Kohlensäure bildet ($CO_2 + H_2O = H_2CO_3$). Das Kohlendioxyd wird von Scheele im Nachstehenden auch fixe Luft genannt.

halte ich mich für überzeugt, dafs es nicht die gewöhnliche ıft ist.

achstehende Versuche beweisen, dafs die Luft aus astischen Flüssigkeiten von zweierlei Art zusammengesetzt ist.

a) Ich löste eine Unze Schwefelleber[1]) in acht Unzen Wasser f. Von dieser Lösung gofs ich vier Unzen in eine leere Flasche, lche vierundzwanzig Unzen Wasser fafste und schlofs dieselbe t einem Kork aufs Genaueste. Darauf drehte ich die Flasche ı und setzte den Hals in ein kleines Gefäfs mit Wasser. In ser Stellung beliefs ich sie vierzehn Tage. Darauf nahm ich die asche und hielt sie in eben solcher Stellung in ein gröfseres Ge-s mit Wasser, sodafs der Kopf unter der Wasserfläche war, d zog den Kork unter Wasser ab. Sogleich drang das Wasser t Heftigkeit in die Flasche ein. Ich verschlofs letztere wieder, g sie aus dem Wasser und wog die in ihr enthaltene Flüssig-it, welche 10 Unzen betrug. Zieht man die vier Unzen Schwefel-erauflösung davon ab, so bleiben sechs Unzen. Folglich erhellt ıs diesem Versuch, dafs sechs von zwanzig Teilen Luft in vier-hn Tagen verloren gegangen waren.

b) Ich wiederholte den vorhergehenden Versuch mit derselben enge Schwefelleber, jedoch mit dem Unterschiede, dafs ich die ıt verschlossene Flasche nur eine Woche stehen liefs. Darauf nd ich, dafs nur vier Teile Luft von zwanzig Teilen verloren ge-ıngen waren[2]).

c) Ich löste zwei Unzen Eisenvitriol in zweiunddreifsig Unzen asser; diese Lösung fällte ich mit Kalilauge. Nachdem der ederschlag[3]) sich gesetzt hatte, gofs ich das Klare ab, brachte e erhaltene dunkelgrüne Masse in die vorerwähnte Flasche und rstopfte sie genau. Nach vierzehn Tagen waren zwölf Teile von ərzig Teilen Luft verloren gegangen.

d) Wird Eisenfeile mit etwas Wasser angefeuchtet und in ıer wohl verschlossenen Flasche einige Wochen aufbewahrt, so

[1]) Ein durch Zusammenschmelzen von Schwefel und Pottasche ($K_2 CO_3$) ıaltenes Präparat, das im wesentlichen aus Schwefelkalium besteht und be-rig Sauerstoff aufnimmt. Eine Unze = $^1/_{12}$ Medizinalpfund = 29,232 g.

[2]) Dies ist annähernd das richtige Verhältnis. Das verschwundene Fünftel r Sauerstoff, der von der Schwefelleber gebunden wurde.

[3]) Der Niederschlag ist Ferrohydroxyd: $FeSO_4 + 2KOH = Fe(OH)_2 + K_2SO_4$. sselbe geht unter Aufnahme von Wasser und Sauerstoff leicht in Ferri-lroxyd über: $2Fe(OH)_2 + 2H_2O + O = 2Fe(OH)_3$.

geht ebenfalls ein Teil der Luft verloren[1]). In keinem der bei diesen vier Versuchen erhaltenen Rückstände der Luft kann irgend ein Licht brennen, noch der geringste Funken erscheinen.

e) In einen dünnen Kolben, welcher dreifsig Unzen Wasser fafste, legte ich neun Gran Phosphor und verschlofs die Mündung auf das Genaueste. Darauf erhitzte ich die Stelle des Kolbens, wo der Phosphor lag. Derselbe fing an zu schmelzen und entzündete sich; der Kolben wurde darauf mit einem weifsen Nebel angefüllt, welcher sich an die Wände wie weifse Blumen anlegte. Dies war die trockene Säure des Phosphors[2]). Nachdem der Kolben wieder kalt geworden war, hielt ich ihn umgekehrt ins Wasser und öffnete ihn. Kaum war dies geschehen, so drückte die äufsere Luft das Wasser in den Kolben; dieses Wasser wog neun Unzen[3]).

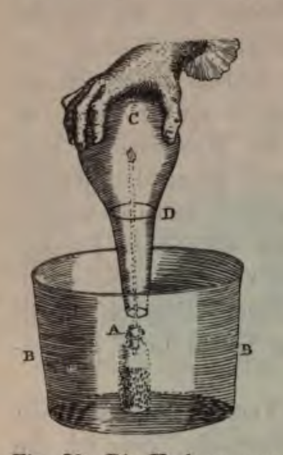


Fig. 29. Die Verbrennung von Wasserstoff in einer abgeschlossenen Luftmenge.
(Aus Scheeles Abhandlung von der Luft und dem Feuer.)

f) In ein Glas, welches zwei Unzen Wasser enthalten konnte, legte ich drei Theelöffel voll Eisenfeilspäne, hierzu gofs ich eine Unze Wasser und setzte nach und nach eine halbe Unze Vitriolöl hinzu. Es entstand eine heftige Erhitzung und Gasentwickelung. Als der Schaum sich etwas gelegt hatte, steckte ich einen genau schliefsenden Korkstöpsel, durch welchen ich vorher eine gläserne Röhre gesteckt hatte, in das Glas. Dieses Glas stellte ich in ein Gefäfs mit heifsem Wasser BB. Darauf fuhr ich mit einem brennenden Licht über die Öffnung der Röhre hin, so dafs sich die brennbare Luft[4]) entzündete und mit einer kleinen gelblichgrünen Flamme brannte. Sobald dies geschehen, nahm ich einen Kolben C, welcher zwanzig Unzen Wasser enthalten konnte, und hielt denselben so tief ins Wasser, dafs die

---

1) Das Eisen verwandelt sich unter Aufnahme von Wasser und Sauerstoff in Rost.

2) Wir würden sagen Phosphorsäureanhydrid: $2P + 5O = P_2O_5$.

3) Man sieht, Genauigkeit bei quantitativen Bestimmungen war nicht Scheeles Sache. Es konnten sich nur 6 Unzen ergeben, da $^1/_5$ der Luft, der Sauerstoff nämlich, absorbiert war.

4) Wasserstoff, der sich bei diesem Versuche nach folgender Gleichung entwickelt: $Fe + H_2SO_4 = 2H + FeSO_4$.

eine Flamme sich mitten im Kolben befand. Sogleich fing das Wasser allmählich zu steigen, und als es die Höhe D erreicht hatte, losch die Flamme. Der Raum im Kolben bis D enthielt vier nzen, also war der fünfte Teil der Luft verloren gegangen. h gofs einige Unzen Kalkwasser in den Kolben, um zu sehen, etwa während des Brennens etwas Luftsäure entstanden sei; ich nd aber dergleichen nicht. Mit Zinkfeile habe ich eben diesen ersuch angestellt, welcher in allen Stücken dem jetzt erwähnten ch [1]).

g) Ich mischte so viel konzentrierte Schwefelsäure mit fein riebenem Braunstein, dafs ein dicker Brei entstand. Diese schung erhitzte ich in einer kleinen Retorte über offenem Feuer. att eines Recipenten brauchte ich ne luftleere Blase. bald der Boden r Retorte glühte, ng eine Luftart er, welche die ase nach und nach sdehnte. Ich füllte n Glas, welches en Unzen Wasser thielt, mit dieser Luftart; darauf llte ich ein kleines gezündetes Licht nein. Kaum war dies geschehen, so fing das Licht an mit einer ofsen Flamme zu brennen, wobei es einen so hellen Schein von h gab, dafs es die Augen blenden konnte. Ich mischte einen il dieses Gases [2]) mit drei Teilen derjenigen Luft, in welcher s Feuer nicht mehr brennen wollte; so erhielt ich eine Luft, elche der gewöhnlichen in allen Stücken gleich war. Da das stere Gas notwendig zur Entstehung des Feuers erfordert wird

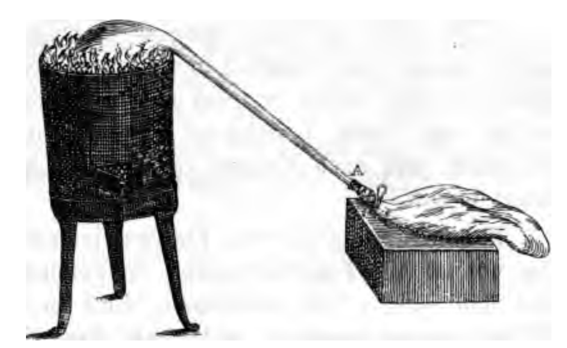


Fig. 30. Die Entwicklung von Sauerstoff aus einer Mischung von Braunstein und Schwefelsäure. (Aus Scheeles Abhandlung von der Luft und dem Feuer.)

---

1) $Zn + H_2SO_4 = 2H + ZnSO_4$. Das Kalkwasser würde sich bei Gegenrt von Luftsäure (CO_2) unter Bildung von kohlensaurem Kalk ($CaCO_3$) gebt haben.

2) Sauerstoff, der sich aus Braunstein durch Einwirkung der Schwefelre nach folgender Gleichung entwickelt:

$$MnO_2 + H_2SO_4 = MnSO_4 + H_2O + O.$$

heele gebraucht für Sauerstoff den Namen Feuerluft.

und etwa den dritten Teil unserer atmosphärischen Luft ausmacht, so werde ich es künftig Feuerluft nennen; die andere Luftart aber, welche zur Unterhaltung des Feuers gar nicht dienlich ist und etwa zwei Drittel unserer Atmosphäre bildet, will ich in der Folge mit dem Namen verdorbene Luft[1]) belegen.

h) Ich erhitzte eine Unze gereinigten Salpeter in einer gläsernen Retorte und gebrauchte eine feucht gemachte und von Luft entleerte Blase zum Auffangen. Sobald der Salpeter zu glühen anfing, wurde die Blase von dem übergehenden Gase ausgedehnt. Ich fuhr mit dem Erhitzen so lange fort, bis die Gasentwickelung in der Retorte aufhörte. In der Blase erhielt ich reine Feuerluft, welche den Raum von fünfzig Unzen Wasser einnahm. Dieses ist die beste und wohlfeilste Methode, die Feuerluft zu bekommen[2]).

i) Ich füllte ein Glas, welches sechzehn Unzen Wasser enthalten konnte, mit reiner Feuerluft. Dieses Glas setzte ich umgekehrt in ein Gefäfs, welches mit einer Lösung von Schwefelleber gefüllt war (siehe Versuch a). Die Lösung stieg alle Stunden ein wenig, und nach Verlauf von zwei Tagen war das Glas ganz damit gefüllt.

k) Ich mischte in einer Flasche vierzehn Teile derjenigen Luft, von welcher die Feuerluft durch Schwefelleber geschieden worden war und welche ich verdorbene Luft genannt habe, mit vier Teilen unserer Feuerluft und setzte diese Flasche umgekehrt und offen in ein Gefäfs, das mit einer Lösung von Schwefelleber gefüllt war. Nach vierzehn Tagen waren die vier Teile Feuerluft verschwunden, und die Lösung war an ihre Stelle getreten.

l) In ein Glas von sieben Unzen, welches mit Feuerluft gefüllt war, legte ich ein Stück Phosphor und verschlofs es mit einem Kork. Darauf erhitzte ich die Stelle, wo der Phosphor lag. Derselbe verbrannte mit einem sehr hellen Glanz. Sobald die Flamme erloschen war, zersprang das Glas.

m) Da das Glas im vorhergehenden Versuch sehr dünn war, wiederholte ich diesen Versuch mit einem etwas dickeren Glase, und nachdem alles kalt geworden war, drückte ich den Kork unter Wasser völlig in das Glas hinein. Da fuhr das Wasser in das Glas und füllte es beinahe gänzlich aus. Da das erstere Glas

[1]) Lavoisier nannte dieses Gas Azote (α privativum und ζωή, Leben), was im Deutschen durch das Wort Stickstoff wiedergegeben wurde.

[2]) Salpeter giebt beim Erhitzen Sauerstoff unter Bildung von salpetrigsaurem Kalium: $KNO_3 = KNO_2 + O$.

nur dünn war, so mufs man wohl der äufseren Luft zuschreiben, dafs es zerdrückt wurde.

n) Als ich die verdorbene Luft mit einem Drittel der Feuerluft mischte und ein Stück Phosphor in dieser Luftmischung verbrannte, wurde auch nur der dritte Teil davon absorbiert.

Ich fand, dafs die verdorbene Luft (d. h. der Stickstoff) leichter als die atmosphärische Luft ist. Mufs nicht daraus folgen, dafs die Feuerluft (der Sauerstoff) schwerer als die letztere ist? Gewifs, ich fand wirklich, als ich soviel Feuerluft, wie zwanzig Unzen Wasser Raum einnehmen, genau wog, dafs diese Menge fast zwei Gran schwerer war als ebensoviel gewöhnliche Luft[1]).

Es zeigen also unsere Versuche, dafs die Feuerluft eben das Gas ist, vermittelst dessen das Feuer in der atmosphärischen Luft unterhalten wird. Sie ist darin nur mit einer Luftart vermischt, die zum Brennbaren gar keine Anziehung zu haben scheint, und diese ist es, welche der sonst zu schnellen und heftigen Entzündung etwas Hinderung in den Weg legt. Und in der That, bestünde die Luft aus lauter Feuerluft, so würde das Wasser zum Löschen der Feuersbrünste wohl wenig Nutzen schaffen.

---

35. Lavoisier erklärt die Verbrennungserscheinungen. 1774.

Die Zerlegung der atmosphärischen Luft[1]).

Antoine Laurent Lavoisier wurde am 26. August 1743 zu Paris geboren. Bereits im Jahre 1768 wurde er Mitglied der Akademie, der er 1772 die Mitteilung machte, dafs nach seinen Versuchen bei der Verbrennung das Gewicht der Körper unter Absorption von Luft zunehme. Sobald Lavoisier mit dem von Priestley und Scheele (Siehe 34) entdeckten Sauerstoff bekannt geworden war, fand er auch die richtige Erklärung für diese Erscheinung. Eine

1) Die Gewichte gleicher Volumina Stickstoff und Sauerstoff verhalten sich bekanntlich wie die Atomgewichte dieser Elemente, also wie 14 : 16, während sich die Gewichte von Stickstoff, atmosphärischer Luft und Sauerstoff wie 14 : 14,44 : 16 verhalten.

1) Lavoisier, Traité élémentaire de chimie. 1. Bd. der 1862—68 vom französischen Unterrichtsministerium herausgegebenen Werke Lavoisiers, 3. Kapitel, übersetzt von F. Dannemann.

übersichtliche Darstellung der Chemie auf Grund seiner „antiphlogistischen“ Theorie gab er 1789 in dem „Grundrifs der Chemie“, dessen drittes Kapitel hier vorliegt. Lavoisier fiel als ein Opfer der Schreckensherrschaft am 8. Mai 1794. Näheres über ihn siehe Bd. II d. Grdr. (1. Aufl.) Seite 296 u. f.

Über unsere Atmosphäre läfst sich vorweg behaupten, dafs sie aus der Vereinigung aller derjenigen Stoffe bestehen mufs, welche bei mittleren Temperatur- und Druckverhältnissen den gasförmigen Zustand besitzen. Diese Gase bilden eine Masse von nahezu gleicher Zusammensetzung bis zu den gröfsten Höhen, zu welchen man bisher emporgestiegen ist. Ihre Dichtigkeit wird in dem Mafse kleiner, je geringer der Druck ist, der auf ihr lastet. Immerhin ist es aber möglich, dafs die uns bekannte Schicht von einer oder mehreren ganz anders zusammengesetzten Schichten bedeckt ist.

Wir wollen jetzt die Zahl und die Natur der Gase feststellen, welche die uns umgebende Schicht bilden. Das Experiment soll uns darüber aufklären. Die Chemie giebt im allgemeinen zwei

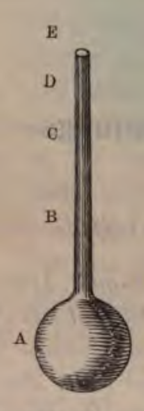


Fig. 31. Kolben zur Analyse der atmosphärischen Luft.
(Lavoisier, Oeuvres. Tome I. Pl. II, Fig. 14.)

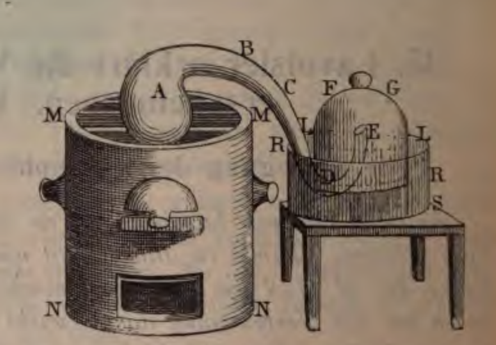


Fig. 32. Die Analyse der atmosphärischen Luft durch Erhitzen von Quecksilber in einer abgeschlossenen Luftmenge.
(Lavoisier, Oeuvres, Tome I, Pl. IV, Fig. 2.)

Mittel an die Hand, die Zusammensetzung einer Substanz zu bestimmen, die Synthese und die Analyse. Man darf sich auf chemischem Gebiete nicht eher zufrieden geben, bis man diese beiden Arten der Prüfung hat vereinigen können.

Diesen Vorteil bietet die Untersuchung der atmosphärischen Luft; sie läfst sich zerlegen und wieder zusammensetzen, und ich werde mich darauf beschränken, hier die wichtigsten Experimente anzuführen, welche in dieser Hinsicht gemacht sind. Es ist fast keines darunter, das nicht mir angehörte, sei es, dafs ich dieselben zuerst anstellte, sei es, dafs ich sie unter einem neuen Gesichtspunkt wiederholte, nämlich mit Bezug auf die Zusammensetzung der atmosphärischen Luft.

Ich nahm einen Kolben (Fig. 31) von etwa 36 Kubikzoll Inhalt, dessen Hals BCDE sehr lang war. Ich bog ihn, wie man es in Fig. 32 abgebildet sieht, in der Weise, dafs er in einen Ofen MMNN gelegt werden konnte, während das Ende E unter der Glocke FG mündete, welche in eine Quecksilberwanne RR gesetzt war. In diesen Kolben brachte ich vier Unzen[1]) sehr reines Quecksilber. Indem ich darauf einen Heber unter die Glocke FG führte und sog, hob sich das Quecksilber bis LL; ich bezeichnete dieses Niveau sorgfältig mit einem geleimten Papierstreifen und beobachtete genau den Barometerstand und die Temperatur.

Nachdem diese Vorbereitungen getroffen waren, zündete ich in dem Ofen ein Feuer an und unterhielt dasselbe fast ununterbrochen zwölf Tage lang, so dafs das Quecksilker bis zu seinem Siedepunkt erhitzt wurde.

Während des ganzen ersten Tages ereignete sich nichts Bemerkenswertes. Obgleich das Quecksilber nicht kochte, befand es sich doch im Zustande fortwährender Verdampfung, es überzog das Innere der Gefäfse mit Tröpfchen, die zuerst sehr fein waren, allmählich gröfser wurden und, wenn sie einen gewissen Umfang erreicht hatten, von selbst auf den Grund des Gefäfses zurückfielen, um sich mit dem übrigen Quecksilber zu vereinigen. Den zweiten Tag sah ich, wie auf der Oberfläche des Quecksilbers kleine rote Flecken auftraten, welche während 4—5 Tagen an Zahl und Gröfse zunahmen. Darauf hörten sie auf zu wachsen und verblieben gänzlich in demselben Zustande. Als ich nach zwölf Tagen erkannte, dafs die Verkalkung[2]) des Quecksilbers gar keinen Fortschritt mehr machte, liefs ich das Feuer ausgehen und die Gefäfse erkalten. Das Volumen der gesamten Luft, welche sich in dem Kolben und unter der Glocke befand, betrug auf einen Druck von 28 Zoll und 10° Temperatur reduziert vor dem Ver-

[1]) 1 Unze = 29,232 g.

[2]) Die Oxydationsprodukte der Metalle wurden zur Zeit Lavoisiers als Metallkalke, ihre Entstehung als Verkalkung bezeichnet.

suche etwa fünfzig Kubikzoll. Nach Beendigung desselben waren unter den gleichen Temperatur- und Druckverhältnissen nur noch 42—43 Kubikzoll vorhanden. Es hatte demnach eine Verminderung des Volumens um ungefähr $^1/_6$ stattgefunden. Ich sammelte darauf die rote Masse, welche sich gebildet hatte, sorgfältig und befreite sie, so viel wie möglich, vom Quecksilber. Ihr Gewicht betrug 45 Gran[1]).

Die Luft, welche nach diesem Versuch zurückblieb und durch die Verkalkung des Quecksilbers auf $^5/_6$ ihres ursprünglichen Volumens vermindert war, erwies sich weder zur Atmung, noch zur Verbrennung mehr geeignet. Tiere, welche man hineinbrachte, starben nach wenigen Augenblicken, und ein Licht erlosch darin sofort, als wenn man es in Wasser getaucht hätte.

Darauf brachte ich die 45 Gran der roten Substanz, welche sich während des Versuches gebildet hatten, in eine sehr kleine Glasretorte. Diese setzte ich mit einem zum Auffangen etwaiger flüssiger und gasförmiger Produkte geeigneten Apparat in Verbindung.

Nachdem ich Feuer in dem Ofen angemacht hatte, beobachtete ich, dafs in dem Mafse, wie die rote Materie erhitzt wurde, ihre Farbe ins Dunkle überging. Als dann die Retorte sich dem Glühen näherte, begann der rote Körper an Umfang zu verlieren, und in wenigen Minuten war er ganz verschwunden.

Gleichzeitig hatten sich in dem kleinen Recipienten $41^1/_2$ Gran flüssiges Quecksilber verdichtet, und unter der Glocke waren 7—8 Kubikzoll eines Gases aufgetreten, das viel besser als die atmosphärische Luft die Verbrennung und Atmung zu unterhalten imstande war. Nachdem ich einen Teil dieses Gases in eine gläserne Röhre von einem Zoll Durchmesser gefüllt und eine Kerze hineingetaucht hatte, verbreitete sie darin ein blendendes Licht; die Kohle, anstatt ruhig zu glimmen, wie sie es in gewöhnlicher Luft thut, brannte darin mit solch lebhaftem Licht, dafs die Augen es kaum ertragen konnten. Dieses Gas, welches Priestley, Scheele und ich fast gleichzeitig entdeckten, hat der Erste dephlogistisierte Luft, der Zweite Feuerluft genannt; ich will ihm den Namen Sauerstoff geben, weil es eine seiner wichtigsten Eigenschaften ist, Säuren zu bilden, indem es sich mit den meisten Substanzen vereinigt. Beim Nachdenken über die Umstände dieses Versuches erkennt man, dafs das Quecksilber, indem

---

[1]) Das Medizinalpfund betrug 12 Unzen; jede Unze war gleich 480 Gran (1 Gran etwa = 0,06 g).

es sich verkalkt, den respirablen Teil der Luft aufnimmt, und dafs der Teil der Luft, welcher übrig bleibt, unfähig ist, die Verbrennung und Atmung zu unterhalten. Die atmosphärische Luft ist also aus zwei Gasen von verschiedener, man möchte fast sagen entgegengesetzter, Natur zusammengesetzt.

Eine Probe auf diese wichtige Wahrheit besteht in folgendem: Wenn man die beiden Gase wieder vereinigt, nämlich 42 Kubikzoll des Stickgases und 8 Kubikzoll Sauerstoff, so erhält man ein Gas, das in jeder Hinsicht mit der atmosphärischen Luft übereinstimmt und in demselben Mafse wie diese geeignet ist, die Verbrennung Atmung und Verkalkung der Metalle zu unterhalten.

Über die Verbindung des Sauerstoffs mit Schwefel, Phosphor und Kohle, sowie die Bildung der Säuren überhaupt[1]).

Ein Grundsatz, den man bei der Anstellung von Versuchen nie aus den Augen verlieren darf, ist der, sie so einfach wie möglich zu gestalten und alle Umstände auszuscheiden, welche den Verlauf verwickelt machen. Wir werden daher in den Experimenten, welche den Gegenstand dieses Abschnittes bilden, nicht mit atmosphärischer Luft operieren, die ja keine einfache Substanz ist. Es ist zwar wahr, dafs das Stickgas, welches einen Teil der Mischung bildet, aus der sie besteht, sich bei der Verkalkung und Verbrennung vollständig passiv zu verhalten scheint. Da es aber diese Prozesse verlangsamt und es nicht unmöglich ist, dafs es die Ergebnisse derselben unter gewissen Umständen beeinflufst, scheint es mir nötig, diese Ursache der Unsicherheit auszuschliefsen.

Ich werde daher in den Experimenten, über welche ich berichten will, den Verlauf der Verbrennungen so schildern, wie sie in reinem Sauerstoff stattfinden.

Ich nahm eine Glasglocke (A in Fig. 26) von 5—6 Pinten[2]) Inhalt und füllte sie über Wasser mit Sauerstoff; darauf brachte ich sie in die Quecksilberwanne, trocknete die Oberfläche des Quecksilbers und brachte $61^1/_4$ Gran Phosphor hinein, die ich auf zwei Porzellanschälchen verteilt hatte. Um jede der beiden Mengen für sich anzünden zu können, ohne dafs die Entzündung sich der anderen mitteilte, bedeckte ich die eine mit einer kleinen Glasplatte.

1) Traité élémentaire de chimie, 5. Kapitel.

2) Die Pinte ist ein altfranzösisches Hohlmafs von 0,931 Litern Inhalt.

Nachdem alles so vorbereitet war, hob ich das Quecksilber in der Glocke auf die Höhe E F, indem ich einen Glasheber G H I in die Glocke einführte und sog. Darauf entzündete ich mit einem gebogenen und im Feuer zur Rotglut erhitzten Eisen den Phosphor nacheinander in den beiden Schalen.

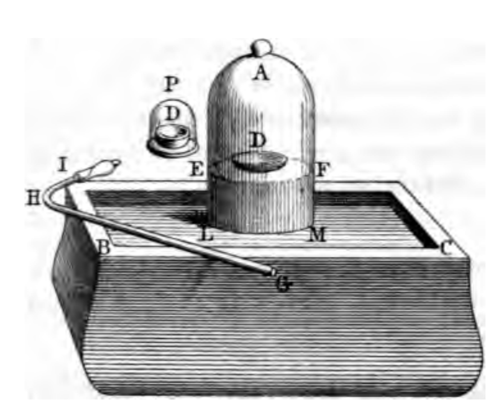


Fig. 33. Die Verbrennung von Phosphor unter einer Glasglocke.
(Lavoisier, Oeuvres. Tome I. Pl. IV, Fig. 3).

Die Verbrennung vollzog sich mit grofser Schnelligkeit und lebhafter Flamme unter bedeutender Entwickelung von Wärme und Licht. Im ersten Augenblicke fand infolge der Erwärmung eine beträchtliche Ausdehnung des Sauerstoffs statt; bald aber stieg das Quecksilber über sein früheres Niveau hinaus, und es trat eine beträchtliche Abnahme ein. Gleichzeitig bedeckte sich das ganze Innere der Glocke mit weifsen, leichten Flocken, welche nichts anderes als feste Phosphorsäure waren [1]).

Die Menge des Sauerstoffs betrug unter Berücksichtigung aller Korrekturen im Beginn des Versuches 162 Kubikzoll; am Ende desselben waren nur noch $23^{1}/_{4}$ Kubikzoll vorhanden; die absorbierte Menge war daher $138^{3}/_{4}$ Kubikzoll oder 69,375 Gran. Der Phosphor war nicht gänzlich verbrannt, es verblieben in den Schälchen einige Stücke, welche gewaschen wurden, um sie von der Säure zu trennen. Sie ergaben getrocknet ein Gewicht von etwa $16^{1}/_{4}$ Gran.

Die Menge des verbrannten Phosphors ergiebt sich demnach gleich 45 Gran. Bei diesem Versuch hatten sich also 45 Gran Phosphor mit 69,375 Gran Sauerstoff verbunden. Da nichts Wägbares durch das Glas entweichen kann, so mufs man schliefsen, dafs das Gewicht der Substanz, welche bei dieser Verbrennung entstand und sich in weifsen Flocken absetzte, gleich der Summe der Gewichte des Sauerstoffs und des Phosphors sein mufs, also gleich 114,375 Gran.

---

[1]) Wir würden heute für feste Phosphorsäure Phosphorsäureanhydrid sagen: $2P + 5O = P_2O_5$.

Die Verbrennung des Phosphors geht in der atmosphärischen Luft ebenfalls von statten. Nur zeigen sich dabei zwei Unterschiede:

1. Die Verbrennung ist viel weniger lebhaft, weil sie in Anbetracht der grofsen Menge Stickstoff, welche dem Sauerstoff beigemengt ist, verlangsamt wird.

2. Es wird nur der fünfte Teil der Luft absorbiert, weil die Verbrennung einzig auf Kosten des Sauerstoffs geschieht.

Der Phosphor verwandelt sich infolge seiner Verbrennung, mag sie in gewöhnlicher Luft oder in Sauerstoff stattfinden, wie erwähnt, in eine weifse, flockige Substanz und erhält ganz neue Eigenschaften. Er wird nicht nur löslich in Wasser, während er vorher darin unlöslich war, sondern er zieht auch die in der Luft enthaltene Feuchtigkeit erstaunlich schnell an und wird zu einer Flüssigkeit von viel gröfserem spezifischen Gewicht als Wasser. Vor seiner Verbrennung ist der Phosphor fast geschmacklos; durch seine Vereinigung mit Sauerstoff nimmt er einen stark sauren Geschmack an, geht endlich aus der Klasse der brennbaren Substanzen in diejenige der unverbrennlichen über und wird das, was man eine Säure nennt.

Diese Umwandlung einer brennbaren Substanz in eine Säure durch den Hinzutritt von Sauerstoff ist, wie wir bald sehen werden, eine Eigentümlichkeit, die einer grofsen Zahl von Stoffen gemeinsam ist. Nun darf man, wenn man logisch verfährt, es nicht unterlassen, alle Vorgänge, welche analoge Ergebnisse liefern, unter einem gemeinsamen Namen zusammenzufassen.

Es ist dies das einzige Mittel, das Studium der Wissenschaften zu vereinfachen, und es würde unmöglich sein, alle Einzelheiten derselben festzuhalten, wenn man es sich nicht angelegen sein liefse, dieselben zu klassifizieren. Wir werden daher die Umwandlung des Phosphors in eine Säure und überhaupt die Verbindung irgend eines brennbaren Körpers mit Sauerstoff als Oxydation bezeichnen.

---

36. Die Erfindung des Eiskalorimeters und die Bestimmung von spezifischen Wärmen und Verbrennungswärmen mittelst desselben. 1780.

Abhandlung über die Wärme von Lavoisier und Laplace[1].

Biographische Bemerkungen über Laplace und Lavoisier siehe Abschnitt 28 und Abschnitt 35 d. Bds.

Auseinandersetzung eines neuen Mittels, die Wärme zu messen.

Was auch die Ursache sein mag, welche die Empfindung der Wärme hervorbringt, sie ist der Zunahme und der Verminderung fähig; unter diesem Gesichtspunkte kann sie der Rechnung unterworfen werden. Es scheint nicht, dafs die Alten den Gedanken gehabt haben, ihre relativen Werte zu messen; erst im vergangenen Jahrhundert hat man Mittel ersonnen, dahin zu gelangen. Ausgehend von der allgemeinen Beobachtung, dafs eine gröfsere oder geringere Wärme merklich das Volumen der Körper verändert, insbesondere das der Flüssigkeiten, hat man geeignete Instrumente hergestellt, um diese Änderung des Volumens zu bestimmen. Die Physiker unseres Jahrhunderts haben diese Instrumente vervollkommnet, teils indem sie mit Genauigkeit die festen Punkte der Wärme bestimmt haben, nämlich den Eispunkt und den Punkt des siedenden Wassers[2], teils indem sie diejenige Flüssigkeit suchten, deren Volumänderungen am meisten proportional den Veränderungen der Wärme sind. Es bleibt daher jetzt in Bezug auf diese Messung nichts mehr zu wünschen übrig als ein sicheres Mittel, die äufsersten Grade der Temperatur zu bestimmen.

Aber die Kenntnis der Gesetze, denen die Wärme folgt, wenn sie sich in den Körpern ausbreitet, ist weit entfernt von der Vollkommenheit, welche nötig ist, um die Probleme, die sich auf die Mitteilung und auf die Wirkung der Wärme in einem System

[1]) Die Abhandlungen von Lavoisier und Laplace über die Wärme wurden in den Mémoires de l'Académie für das Jahr 1780, S. 355 ff. veröffentlicht und im 2. Bande der gesammelten Werke Lavoisiers wieder abgedruckt. Die nachfolgenden Zeilen bilden einen das Wichtigste wiedergebenden Auszug derselben unter Benutzung des 40. Bandes der Ostwaldschen Sammlung: Zwei Abhandlungen über die Wärme von A. L. Lavoisier und P. S. de Laplace, herausgegeben von J. Rosenthal. Leipzig, Verlag von Wilh. Engelmann 1892.

[2]) Siehe die Abhandlung von Celsius unter Nr. 23 dieses Buches.

von ungleich erwärmten Körpern beziehen, der Rechnung zu unterwerfen. Man hat schon eine grofse Zahl von lehrreichen Versuchen gemacht, aus denen hervorgeht, dafs bei dem Übergang aus dem festen in den flüssigen Zustand und von letzterem in den dampfförmigen, sehr viel Wärme verbraucht wird. Man hat aufserdem beobachtet, dafs bei gleicher Temperatur verschiedene Körper von gleichem Volumen nicht eine gleiche Wärmemenge einschliefsen. Mat hat sogar das Verhältnis des Wärmeinhalts verschiedener Substanzen bestimmt. Da ferner auf der Oberfläche der Erde selbst die kältesten Körper nicht ganz frei von Wärme sind, so hat man auch gesucht, die Beziehungen der absoluten Wärme zu den Veränderungen, welche das Thermometer anzeigt, kennen zu lernen.

Dennoch sind die Physiker nicht einer Meinung über die Natur der Wärme. Mehrere unter ihnen betrachten sie als eine Flüssigkeit, welche in der ganzen Natur verbreitet sei, und welche die Körper mehr oder weniger durchdringe, je nach dem Grade der Temperatur und der den Körpern eigenen Fähigkeit, sie zurückzuhalten. Die Wärme kann sich gemäfs dieser Ansicht mit den Körpern verbinden, und in diesem Zustande ist sie nicht mehr imstande, auf das Thermometer zu wirken und sich von einem Körper zum anderen fortzupflanzen. Nur im Zustande der Freiheit, welcher ihr gestattet, sich in den Körpern ins Gleichgewicht zu setzen, bildet sie das, was wir freie Wärme nennen.

Andere Physiker glauben, dafs die Wärme nichts ist als das Ergebnis unmerklicher Bewegungen der Moleküle. Man weifs, dafs die Körper, selbst die dichtesten, erfüllt sind von einer grofsen Zahl von Poren oder kleineren Lücken, deren Volumen beträchtlich das der Materie, welche diese Lücken einschliefst, übertreffen kann. Diese leeren Räume lassen den kleinsten Teilchen die Freiheit, nach allen Richtungen zu schwingen. Es liegt nahe zu denken, dafs diese Teilchen sich in einer fortwährenden Bewegung befinden. Wenn diese Bewegung bis zu einem gewissen Grade anwächst, soll sie sogar die kleinen Teilchen von einander trennen und so die Körper zersetzen können. Diese innere Bewegung ist es, welche nach Ansicht der Physiker, von denen wir sprechen, die Wärme ausmacht[1]).

---

[1]) Letztere Ansicht hat erst seit 1840 besonders durch die Bemühungen von Robert Mayer, Helmholtz, Joule und Clausius feste Gestalt angenommen und unter dem Namen der mechanischen Wärmetheorie allgemein Eingang in die Wissenschaft gefunden. Siehe die entsprechenden Abschnitte des II. Bds. d. Grdr.

Wir wollen nicht zwischen den beiden vorhergehenden Hypothesen entscheiden. Mehrere Erscheinungen sind der letzteren günstig, so z. B. die, dafs Wärme durch die Reibung zweier festen Körper entsteht. Aber es giebt andere Erscheinungen, welche sich leichter nach der ersten Hypothese erklären lassen. Nun bleibt sowohl nach der einen wie nach der anderen die freie Wärmemenge stets dieselbe, wenn eine einfache Mischung von Körpern stattfindet. Dies ist klar, wenn die Wärme eine Flüssigkeit ist, die sich ins Gleichgewicht zu setzen strebt, und ebenso, wenn sie nichts ist als die lebendige Kraft der innerlichen Bewegungen der Materie. Das Bestehenbleiben der freien Wärme bei der einfachen Mischung der Körper ist daher unabhängig von jeder Hypothese über die Natur der Wärme; es wird allgemein von den Physikern angenommen, und wir wollen dies Bestehenbleiben in den folgenden Untersuchungen gleichfalls voraussetzen.

Wenn bei einer Verbindung oder irgend einer Zustandsänderung eine Verminderung der freien Wärme stattfindet, so wird diese Wärme ganz wieder erscheinen, sobald die Körper in ihren früheren Zustand zurückkehren; und andererseits, wenn bei einer Verbindung oder einer Zustandsänderung eine Zunahme der freien Wärme stattfindet, so wird diese neue Wärme bei der Rückkehr der Substanzen in ihren ursprünglichen Zustand verschwinden. So bewirkt die Umwandlung des Eises in Wasser und des Wassers in Dampf ein sehr erhebliches Verschwinden von Wärme, die wieder auftritt bei der Verwandlung von Wasser in Eis oder bei der Verdichtung des Dampfes zu Wasser.

Wenn man zwei Substanzen von gleicher Masse und derselben Temperatur voraussetzt, so wird die Wärmemenge, welche erforderlich ist, um ihre Temperatur um 1° zu erhöhen, dennoch nicht für beide Körper dieselbe sein; und wenn man als Einheit diejenige Wärmemenge nimmt, welche die Temperatur eines Pfundes gewöhnlichen Wassers um 1° erhöht, so versteht man leicht, dafs alle anderen Wärmemengen, die sich auf verschiedene Stoffe beziehen, in Teilen dieser Einheit ausgedrückt werden können. Wir werden in der Folge unter dem Ausdruck spezifische Wärme dieses Verhältnis der Wärmemengen verstehen[1]). Dieses Verhältnis kann mit den verschiedenen Temperaturgraden wechseln. Wenn z. B.

[1]) Heute gilt unter dem Namen Kalorie diejenige Wärmemenge als Einheit, welche die Temperatur eines Kilogramms Wasser von 0° auf 1° erhöht. Die spezifische Wärme eines Stoffes ist somit die Anzahl Kalorien, welche erforderlich ist, um ein Kilogramm desselben von 0° auf 1° zu erwärmen.

die Wärmemengen, welche nötig sind, um ein Pfund Eisen und ein Pfund Quecksilber von 0° auf 1° zu bringen, sich verhalten wie 3 : 1, so können die Wärmemengen, welche man anwenden mufs, um eben dieselben Stoffe von 200° auf 201° zu bringen, ein gröfseres oder geringeres Verhältnis haben. Aber man kann voraussetzen, dafs dieses Verhältnis nahezu konstant ist von 0°—80°; wenigstens hat uns der Versuch keine merkliche Verschiedenheit erkennen lassen. Innerhalb dieser Grenzen werden wir die spezifischen Wärmen der verschiedenen Stoffe bestimmen.

Wenn man ein Stück Eis, das auf irgend einen Grad abgekühlt ist, in eine Atmosphäre bringt, deren Temperatur höher als der Nullpunkt des Thermometers ist, so werden alle Teile der Eismasse den Einflufs der Wärme erfahren, bis ihre Temperatur auf Null gelangt ist. In diesem letzteren Zustande wird die Wärme der Atmosphäre an der Oberfläche des Eises aufgehalten werden, ohne in das Innere eindringen zu können. Sie wird ausschliefslich verwendet werden, die äufserste Schicht des Eises zu schmelzen, welche diese Wärme absorbieren wird, indem sie sich in Wasser verwandelt. Ein Thermometer, das man in diese Schicht eintaucht, wird sich auf demselben Grade erhalten, und die einzige sichtbare Wirkung der Wärme wird in der Verwandlung des Eises in Flüssigkeit bestehen. Wenn dann das Eis eine neue Wärmemenge empfängt, wird eine neue Schicht schmelzen und so alle Wärme, die ihr mitgeteilt wird, absorbieren. Infolge dieser fortwährenden Schmelzung des Eises werden alle inneren Punkte der Masse nach und nach an die Oberfläche kommen und nur in dieser Lage werden sie von neuem der Einwirkung der Wärme der umgebenden Körper ausgesetzt sein.

Man stelle sich nun vor, in einer Atmosphäre, deren Temperatur über 0° ist, befinde sich eine Hohlkugel aus Eis von der Temperatur 0°, und im Innern dieser Hohlkugel sei ein Körper, der auf irgend einen Grad erhitzt ist. Aus dem, was wir gesagt haben, folgt, dafs die äufsere Wärme nicht in den Hohlraum der Kugel eindringen wird. Die Wärme dieses Körpers aber kann sich nicht nach aufsen zerstreuen, sondern wird auf die innere Fläche der Höhlung beschränkt bleiben, von der sie immer neue Lagen abschmelzen wird, bis die Temperatur des Körpers auf 0° heruntergegangen ist. Man hat nicht zu befürchten, dafs die Schmelzung des inneren Eises durch andere Ursachen als durch die vom Körper verlorene Wärme bedingt sei, da dieses Eis vor der Einwirkung jeder anderen Wärme durch die äufseren Eisschichten bewahrt wird,

welche es von der Atmosphäre trennen. Aus demselben Grunde kann man versichert sein, dafs alle Wärme des eingeschlossenen Körpers, indem sie verloren geht, durch das innere Eis festgehalten und einzig und allein verwendet wird, dasselbe zu schmelzen. Sammelt man also das Wasser in der Kugel, wenn die Temperatur des Körpers auf 0° gesunken ist, so wird das Gewicht dieses Wassers genau der Wärme proportional sein, welche der Körper verloren hat, indem er von seiner ursprünglichen Temperatur zu der des schmelsenden Eises abgekühlt wurde. Denn es ist klar, dafs eine doppelt so grofse Wärmemenge doppelt so viel Eis schmelzen mufs, derart dafs die Menge des geschmolzenen Eises ein sehr genaues Mafs der Wärme ist, welche diese Schmelzung veranlafst hat.

Will man nun die spezifische Wärme eines festen Körpers kennen lernen, so wird man seine Temperatur um eine gewisse Anzahl von Graden erhöhen, ihn dann in das Innere der Kugel, von der wir oben gesprochen haben, bringen und ihn darin lassen, bis seine Temperatur auf 0° heruntergegangen ist. Dann wird man das Wasser sammeln, welches sich infolge der Abkühlung des Körpers gebildet hat. Diese Wassermenge, dividiert durch das Produkt der Masse des Körpers und der Anzahl von Graden, welche seine ursprüngliche Temperatur angiebt, wird seiner spezifischen Wärme proportional sein[1]).

Will man die Wärme kennen lernen, welche bei der Verbindung mehrerer Substanzen erzeugt wird, so wird man sie sämtlich ebenso wie die Gefäfse, in welchen sie eingeschlossen sind, auf 0° abkühlen, dann ihre Mischung sofort in das Innere der Eis-

1) Der Gedanke diese Methode des Eisschmelzens zur Bestimmung der spezifischen Wärmen zu benutzen rührt von Black (1728—1799) her. Black brachte die auf eine bestimmte Temperatur erwärmte Substanz in die Höhlung eines Eisblocks, verschlofs dieselbe mit einem Deckel und wog das entstandene Schmelzwasser.

Um 1 kg Eis von 0° in 1 kg Wasser von 0° zu verwandeln, sind 80 Wärmeeinheiten erforderlich. Zur Erläuterung diene folgendes Beispiel: Die Substanz, deren spezifische Wärme bestimmt werden soll, wiege 2 kg und sei auf 10° erhitzt, die Menge des Schmelzwassers betrage $\frac{1}{10}$ kg. Daraus folgt, dafs die 2 kg, als sie von 10° auf 0° abgekühlt wurden, $\frac{1}{10} \cdot 80 = 8$ Wärmeeinheiten verloren. Dieselbe Wärmemenge mufs ihnen zugeführt werden, um sie von 0° auf 10° zu erhitzen. Um demnach 1 kg von 0° auf 10° zu erwärmen, würden 4 Wärmeeinheiten $\left(\frac{\frac{1}{10} \cdot 80}{2}\right)$, um es von 0° auf 1° zu erwärmen, würden dagegen nur 0,4 Wärmeeinheiten $\left(\frac{\frac{1}{10} \cdot 80}{2 \cdot 10}\right)$ erforderlich sein.

kugel bringen und sie darin lassen, bis ihre Temperatur wieder 0° ist. Die Wassermenge, welche bei diesem Versuche gesammelt wird, wird ein Mafs für die bei der Verbindung entwickelte Wärme sein.

Die Bestimmung der Wärme, welche durch die Verbrennung und durch die Atmung erzeugt wird, bietet nicht mehr Schwierigkeiten. Man verbrennt die Körper im Innern der Kugel und läfst die Tiere innerhalb derselben atmen. Da aber die Erneuerung der Luft bei diesen Operationen unumgänglich nötig ist, wird es erforderlich sein, eine Verbindung zwischen dem Innern der Kugel und der umgebenden Atmosphäre herzustellen. Damit ferner die Einführung der neuen Luft keinen merklichen Fehler in den Ergebnissen hervorruft, mufs man diese Versuche bei einer Temperatur machen, die nur wenig von 0° verschieden ist, oder mindestens die Luft, welche man einführt, auf diese Temperatur abkühlen.



Fig. 34. Lavoisiers Eiskalorimeter. (Aus der Abhandlung von Lavoisier und Laplace.)

Wir haben immer von einer Eiskugel gesprochen, nur um die Methode, welcher wir uns bedient haben, besser verständlich zu machen. Es würde sehr schwer sein, sich derartige Kugeln zu verschaffen. Wir haben sie daher durch folgenden Apparat ersetzt. Der senkrechte Schnitt ist in Fig. 34 dargestellt und zeigt das Innere desselben. Der Hohlraum des Apparats ist in drei Teile eingeteilt; um uns verständlicher zu machen, wollen wir dieselben durch die Namen innere Höhlung, mittlere Höhlung, äufsere Höhlung bezeichnen. Die innere Höhlung ffff

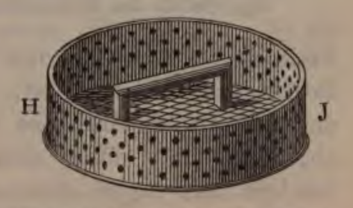


Fig. 35. Deckel für das innere Gefäfs des Eiskalorimeters.

wird von einem Eisendrahtgeflecht gebildet, das durch einige Stäbe desselben Metalls gestützt wird. In diese Höhlung bringt man die Körper, welche dem Versuche unterworfen werden sollen. Die obere Öffnung kann vermittelst eines Deckels geschlossen werden, der in Fig. 35 besonders dargestellt ist. Derselbe ist oben ganz offen; sein Boden wird durch ein Netz von Eisendraht gebildet. Der mittlere Raum b b b b ist bestimmt, das Eis aufzunehmen, welches den inneren Raum umgeben und durch die Wärme der dem Versuche unterworfenen Körper geschmolzen werden soll. Dieses Eis wird getragen und zurückgehalten durch einen Rost m m, unter welchem sich ein Sieb befindet. In dem Maſse, wie das Eis geschmolzen wird, läuft das Wasser durch den Rost und das Sieb, gelangt sodann in den Kegel c c d und die Röhre x y; endlich sammelt es sich in dem Gefäſse P, das unter den Apparat gestellt wird; k ist ein Hahn, mit Hilfe dessen man nach Belieben den Abfluſs des aus b b b b kommenden Wassers regeln kann. Die äuſsere Höhlung a a a a ist bestimmt, dasjenige Eis aufzunehmen, welches den Einfluſs der von auſsen kommenden Wärme abhalten soll. Das Wasser, welches durch das Schmelzen dieses Eises entsteht, flieſst durch die Röhre S T. Der ganze Apparat wird mit dem Deckel F G (Fig. 36) bedeckt. Um den Apparat in Gebrauch zu nehmen, füllt man die mittlere Höhlung und den Deckel H J der mittleren Höhlung mit gestoſsenem Eis, ebenso die äuſsere Höhlung und den Deckel F G des ganzen Apparates. Man läſst darauf das innere Eis abtropfen. (Wir nennen so dasjenige, welches in der mittleren Höhlung und im inneren Deckel eingeschlossen ist, und welches man sorgfältig stoſsen und fest in die Maschine eindrücken muſs.) Sobald es genug abgetropft hat, öffnet man den Apparat, um den Körper, mit welchem man experimentieren will, hineinzubringen und schlieſst ihn sofort wieder. Man wartet, bis der Körper vollkommen abgekühlt ist und der Apparat gut abgetropft hat. Dann wägt man das aufgesammelte Wasser in dem Gefäſse P; sein Gewicht ist ein genaues Maſs der von dem Körper abgegebenen Wärme. Das innere Eis hält stets eine kleine Menge Wasser zurück, das seiner

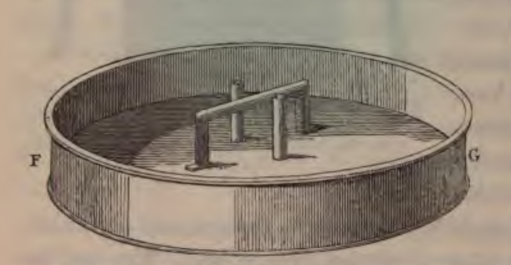


Fig. 36. Deckel für das äuſsere doppelwandige Gefäſs des Eiskalorimeters.

Oberfläche anhaftet, und man könnte glauben, dafs dieses Wasser einen Einflufs auf das Ergebnis unserer Versuche hätte. Aber man mufs beachten, dafs im Anfange eines jeden Versuches das Eis bereits mit der ganzen Menge Wasser benetzt ist, welche es zurückhalten kann. Wenn also ein Teil des Schmelzwassers am inneren Eise hängen bleibt, so wird ungefähr dieselbe Menge Wasser, die vorher an der Oberfläche des Eises haftete, sich von demselben lösen und in das Gefäfs P fliefsen. Die Oberfläche des inneren Eises ändert sich nämlich aufserordentlich wenig während des Versuches.

Zum Schlusse seien einige der von Lavoisier und Laplace gefundenen spezifischen Wärmen mitgeteilt unter Angabe der heute als richtig geltenden Werte in Klammern:

Gewöhnliches Wasser	1	(1)
Eisenblech	0,109	(0,113)
Quecksilber	0,029	(0,033)
Blei	0,028	(0,031)
Schwefel	0,208	(0,202)

Desgleichen seien die Ergebnisse einiger Versuche über die Gröfse der Verbrennungswärme angegeben:

Mengen des geschmolzenen Eises durch die Verbrennung von

1	Pfund	Phosphor	100 Pfund
1	„	Faulbaumkohle	96 „
1	„	Olivenöl	148 „

Die Abweichung von späteren Bestimmungen ist hier eine bedeutende, so entwickelt 1 kg Phosphor 5747 Kalorien und liefert demnach nur $\frac{5747}{80} = 71,8$ *kg Wasser, während nach Lavoisier und Laplace 1 kg Phosphor bei seiner Verbrennung 100 kg Schmelzwasser liefern soll.*

37a. Die Entdeckung der galvanischen Elektricität.

Galvanis Abhandlung über die Kräfte der Elektricität. 1791[1]).

Aloisio Galvani wurde am 9. September 1737 in Bologna geboren und hatte seit 1775 die Professur der Anatomie daselbst inne. Seine Versuche, welche zur Entdeckung der strömenden Elektricität führten, fallen in die Jahre 1780—1790. Richtig gedeutet wurden sie erst von Alessandro Volta. Galvani starb am 14. Dezember 1798, nachdem er aller seiner Ämter für verlustig erklärt worden war, weil er der cisalpinischen Republik den Eid verweigert hatte. Näheres über Galvani siehe Bd. II d. Grdr. (1. Aufl.) S. 309 u. f.

Ich zerlegte einen Frosch, präparierte ihn, wie in Fig. $37_{,2}$ dargestellt ist, und legte ihn auf einen Tisch, auf dem eine Elektrisiermaschine stand (Fig. $37_{,1}$). Als nun die eine von den Personen, die mir zur Hand gingen, mit der Spitze eines Messers die Schenkelnerven D D des Frosches zufällig ganz leicht berührte, zogen sich alle Muskeln an den Gelenken wiederholt derartig zusammen, als wären sie von heftigen Krämpfen befallen. Der andere aber, welcher mir bei Elektricitätsversuchen behilflich war, glaubte bemerkt zu haben, dafs sich dies ereignet hätte, während dem Konduktor der Maschine ein Funke entlockt wurde. Verwundert über diese neue Erscheinung machte er mich, der ich etwas gänzlich anderes vor hatte und in Gedanken versunken war, darauf aufmerksam. Hierauf wurde ich von einem unglaublichen Eifer entflammt, dasselbe zu erproben, und das, was darunter verborgen war, ans Licht zu ziehen. Ich berührte daher selbst mit der Messerspitze den einen oder den anderen Schenkelnerven, und gleichzeitig entlockte einer der Anwesenden dem Konduktor einen Funken. Die Erscheinung blieb stets dieselbe. Unfehlbar traten heftige Zuckungen in demselben Augenblicke ein, in dem der Funke übersprang.

---

1) Nachstehend sind einige wichtige Abschnitte dieser epochemachenden Schrift nach der Ausgabe von A. J. von Oettingen wiedergegeben (Ostwalds Klassiker der exakten Wissenschaften Nr. 52. Leipzig, Verlag von Wilhelm Engelmann). Der Titel des Originals lautet: „De viribus electricitatis in motu musculari commentatio“.

Um zu erproben, ob diese Bewegungen von der Berührung mit der Messerspitze, welche vielleicht einen Reiz bewirkte, oder von dem Funken herrührten, habe ich dieselben Nerven wieder auf die gleiche Weise mit der Messerspitze berührt, und zwar stärker,

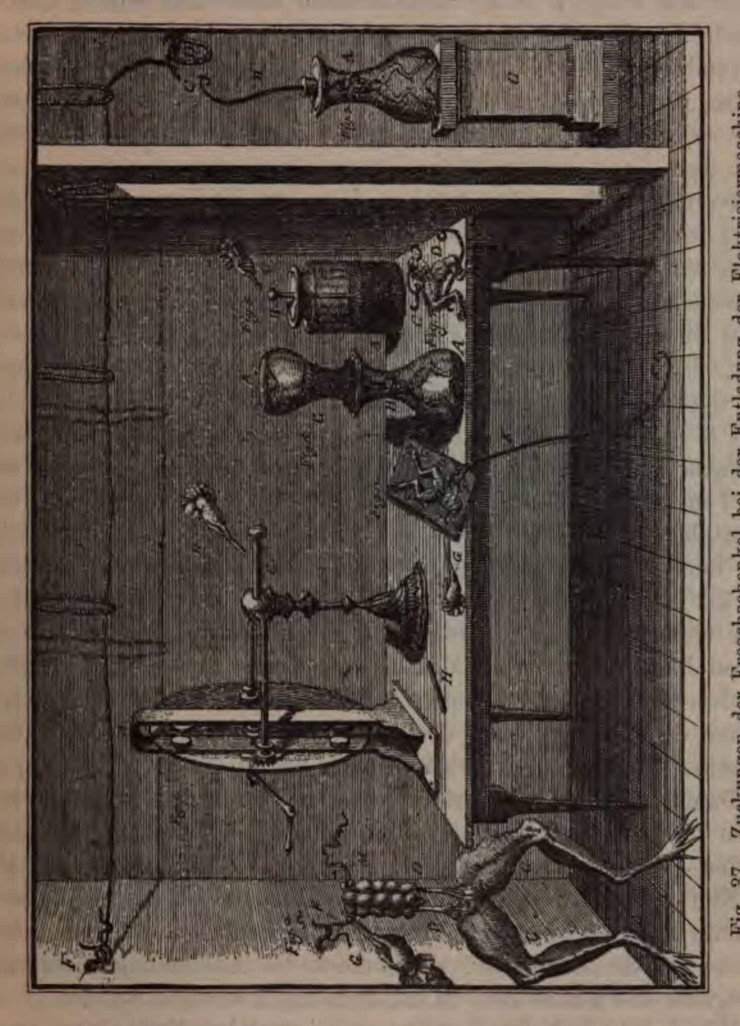


Fig. 37. Zuckungen der Froschschenkel bei der Entladung der Elektrisiermaschine.
(Aus Galvanis Abhandlung über die Kräfte der Elektricität.)

doch ohne dafs während dieser Zeit jemand einen Funken hervorrief. Es wurden jedoch gar keine Bewegungen bemerkbar. Dadurch kam ich zu der Ansicht, es sei zum Hervorrufen der Erscheinung die Berührung und der elektrische Funken zusammen erforderlich.

Durch die Neuigkeit der Erscheinung angeregt, schickten wir uns an, die Sache experimentell zu verfolgen, doch unter Anwen-

dung ein und desselben Messers, damit wir womöglich die Ursache der unerwarteten Verschiedenheit entdeckten. Diese neue Arbeit verlief nicht resultatlos, denn wir bemerkten, daſs die ganze Erscheinung den verschiedenen Teilen des Messers, an denen man es mit den Fingern hielt, zuzuschreiben war. Das Messer hatte nämlich einen beinernen Griff. Und wenn man diesen Griff mit der Hand umschloſs, so traten beim Überspringen des Funkens keine Zuckungen ein, wohl aber, wenn man die Finger an die Metallklinge oder an die die Klinge des Messers festhaltenden eisernen Nägel legte.

Da nun einigermaſsen trockene Knochen die Elektricität nicht leiten, wohl aber die Metallklinge und die eisernen Nägel, so kamen wir auf die Vermutung, daſs, wenn man mit den Fingern den beinernen Griff hielt, dem elektrischen Fluidum, welches auf irgend eine Weise in dem Frosch thätig wird, jeder Zutritt verwehrt, daſs er ihm aber gestattet würde, wenn man die Klinge oder die mit dieser in Verbindung stehenden Nägeln anfaſste[1].

Um nun die Sache auſser allen Zweifel zu setzen, haben wir uns anstatt des Messers bald eines dünnen Glasstäbchens, das von aller Feuchtigkeit und jedem Stäubchen befreit war, bald eines Eisenstäbchens bedient. Mit dem gläsernen Stabe berührten wir nicht nur die Schenkelnerven, sondern wir rieben sie tüchtig, während der Funke hervorgelockt wurde. Aber vergeblich; trotz aller Mühe trat nie die Erscheinung ein, auch wenn zahllose stärkere Funken dem Konduktor der Maschine, selbst in geringer Entfernung von dem Tier, entzogen wurden. Sie trat aber wohl ein, wenn man mit dem Eisenstäbchen eben diese Nerven nur leicht berührte und selbst kleine Funken überspringen lieſs.

Damit stand die Wahrheit unserer Vermutung als klar erwiesen fest, daſs nämlich die Berührung eines leitenden Körpers mit den Nerven erforderlich ist, damit die Erscheinung eintritt.

Nun schien uns nichts wichtiger als zu erörtern, ob die sogenannte atmosphärische Elektricität dieselben Erscheinungen hervorrufen würde oder nicht, ob nämlich bei Anwendung derselben Kunstgriffe die Blitze auch Muskelzuckungen erregen würden.

Wir haben deshalb einen langen, passenden Konduktor, und zwar einen Eisendraht, an einem höher gelegenen Orte des Hauses ausgespannt und isoliert, und daran, als ein Gewitter am Himmel

---

[1]) Bezüglich der Erklärung dieser Erscheinung siehe Bd. II d. Grdr. (1. Aufl.) S. 308 und 309.

aufgezogen war, präparierte Frösche oder präparierte Schenkel von Warmblütern mit ihren Nerven aufgehängt. Auch an ihre Füſse haben wir einen Konduktor, nämlich einen anderen Eisendraht geheftet, und zwar einen sehr langen, den wir bis in das Wasser eines Brunnens tauchen lieſsen. Die Sache verlief ganz nach Erwartung wie bei der künstlichen Elektricität. So oft nämlich Blitze hervorbrachen, gerieten sämtliche Muskeln in demselben Augenblick in wiederholte heftige Zuckungen, so daſs immer die Muskelbewegungen wie der Schein der Blitze, den Donnerschlägen vorangingen und diese gleichsam ankündigten.

Da ich zuweilen bemerkt hatte, daſs präparierte Frösche, welche an einem Eisengitter mit Messinghaken aufgehängt waren, in die gewöhnlichen Zuckungen verfielen, und zwar nicht nur beim Blitzen, sondern auch bei heiterem Himmel, so meinte ich die Entstehung dieser Zuckungen sei von Veränderungen, welche mit der atmosphärischen Elektricität vor sich gingen, herzuleiten. Deshalb beobachtete ich zu verschiedenen Stunden und zwar viele Tage lang dazu passend hergerichtete Tiere, aber nur selten trat eine Bewegung in den Muskeln ein. Schlieſslich durch das vergebliche Warten ermüdet, habe ich die Haken, welche in dem Rückenmark befestigt waren, gegen das eiserne Gitter gedrückt, um zu sehen, ob durch einen solchen Kunstgriff die Zusammenziehung der Muskeln erregt würde. Dabei beobachtete ich ziemlich häufig Zuckungen. Es fehlte nicht viel und ich hätte dieselben der atmosphärischen Elektricität zugeschrieben.

Als ich aber das Tier in das geschlossene Zimmer gebracht auf eine Eisenplatte gelegt und angefangen hatte, gegen letztere den in dem Rückenmark befindlichen Haken zu drücken, bemerkte ich dieselben Zuckungen. Dasselbe habe ich wiederholt unter Anwendung von anderen Metallen, an anderen Orten und zu anderen Stunden und Tagen erprobt und stets das gleiche Ergebnis gefunden, nur daſs die Zuckungen infolge der Verschiedenheit der Metalle verschieden waren, bei den einen nämlich heftiger, bei den anderen langsamer. Schlieſslich kam uns in den Sinn, auch andere Körper, welche aber wenig oder gar keine Elektricität leiten, wie Glas, Gummi, Harz, Stein oder Holz, und zwar trocken zu dem Experiment zu verwenden; nichts Ähnliches trat ein, es lieſsen sich keine Muskelzuckungen erblicken. Natürlich erregte ein derartiges Resultat bei uns nicht geringe Verwunderung und lieſs die Vermutung in uns aufsteigen, daſs dem Tiere selbst Elektricität innewohne.

Um aber die Sache besser klar zu legen, habe ich mit dem gröſsten Erfolge den Frosch auf eine nicht leitende Platte aus Glas oder Harz gelegt und bald einen leitenden, bald einen ganz oder nur zum Teil nicht leitenden Bogen angewendet und mit

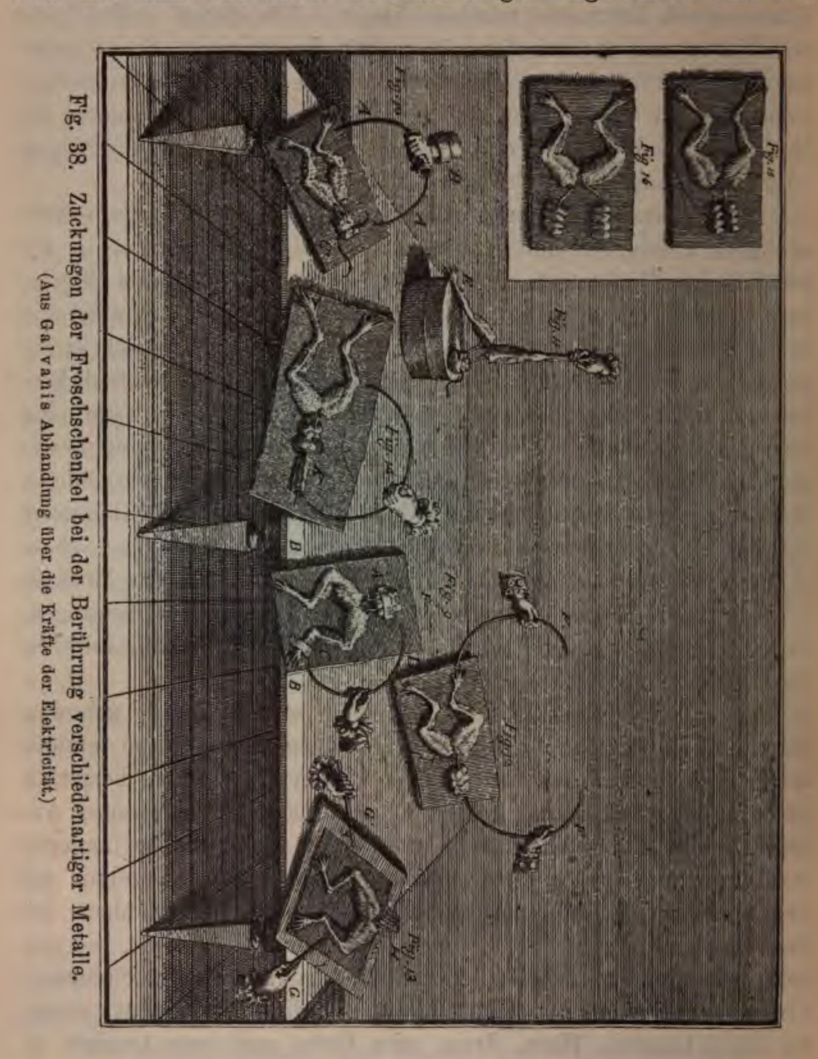


Fig. 38. Zuckungen der Froschschenkel bei der Berührung verschiedenartiger Metalle.
(Aus Galvanis Abhandlung über die Kräfte der Elektricität.)

dessen einem Ende den in dem Rückenmark befindlichen Haken und mit dem anderen entweder die Schenkelmuskeln oder die Füſse berührt. Bei diesem Versuche sahen wir unter Anwendung des leitenden Bogens, Fig. $38_{,9}$, Zuckungen eintreten, bei Anwendung des teils nicht leitenden Bogens, wie in Fig. $38_{,10}$ aber ausbleiben.

Der leitende Bogen bestand aus einem Eisendraht, der Haken aus Messing.

Wenn der Frosch, an einem Beine hängend, mit den Fingern gehalten wird, sodafs der in dem Rückenmark befestigte Haken eine Silberplatte berührt, das andere Bein aber frei auf der Platte gleiten kann (Fig. 37,$_{11}$), so werden, sowie dies Bein die Platte berührt, die Muskeln zusammengezogen, wodurch sich das Bein hebt. Bald aber erschlaffen die Muskeln von selbst, und das Bein kommt, auf die Platte zurückgesunken, wieder zur Berührung mit derselben, wird deshalb wieder hochgehoben und fährt so fort sich zu heben und zu senken, sodafs es gewissermafsen einem elektrischen Pendel zu gleichen scheint, zur gröfsten Verwunderung und Freude des Beobachters.

Es ist natürlich nicht schwer einzusehen, wie bequem und leicht die Erscheinung mit der Platte wiederholt werden kann. Sie dient gewissermafsen als Bogen, der den oben erwähnten Kreislauf ermöglicht, wenn das Bein auf diese Platte niederfällt, für diesen Kreislauf aber nicht mehr vorhanden ist, wenn das Bein sich von der Platte entfernt hat. Dies sind weder zweifelhafte noch dunkle Beweise dafür, dafs die Metallplatte an Stelle des Bogens dient.

Man kann aber kaum sagen, worin die Kraft einer solchen Platte zur Erregung derartiger Muskelzuckungen besteht[1]).

---

[1]) Galvani erklärte seine Versuche aus einer Art tierischen Elektricität und fand damit zuerst allgemeinen Anklang. Volta (1745—1827) dagegen schrieb die Elektricitätserregung der Verschiedenheit der angewandten Metalle zu und bewies, dafs man die tierischen Zwischensubstanzen ganz entbehren könne (Voltas Fundamentalversuch der Kontaktelektricität). Im Jahre 1800 wurde Volta durch seine Versuche auf die Erfindung der galvanischen Kette geführt. Näheres siehe Nr. 37b und Bd. II d. Grdr. (1. Aufl.) S. 312 u. f.

37b. Volta, Über die Elektricität, welche durch die blofse Berührung verschiedenartiger leitender Stoffe hervorgerufen wird[1]).

Alessandro Volta wurde am 18. Februar 1745 zu Como geboren; er war Professor der Physik in Padua und starb in Como am 5. März des Jahres 1827.

Anknüpfend an die Beobachtungen Galvanis zeigte Volta, dafs auch ohne die Mitwirkung von Muskeln und Nerven Elektricität durch blofse Berührung verschiedenartiger Metalle mit oder ohne Zuhilfenahme einer feuchten Zwischensubstanz erzeugt werden kann. Voltas Versuche führten ihn zur Erfindung der galvanischen Säulen und Batterieen, über welche er in nachfolgenden Zeilen berichtet.

Ich habe das Vergnügen, Ihnen einige staunenerregende Ergebnisse mitzuteilen, zu welchen ich im Verfolg meiner Versuche gelangt bin. Diese Versuche beschäftigen sich mit derjenigen Art von Elektricität, welche durch die blofse wechselseitige Berührung verschiedenartiger Metalle, ja selbst anderer Leiter erregt wird, die gleichfalls unter sich verschieden sein müssen und flüssig oder mit Flüssigkeit durchtränkt sein können, welchem Umstande sie dann eigentlich ihr Leitungsvermögen verdanken. Das Hauptergebnis meiner Versuche ist die Herstellung eines Apparates, welcher in Anbetracht der Erschütterungen, die er in den Gliedmafsen hervorzurufen vermag, an eine Leydener Flasche erinnert oder vielmehr an schwach geladene Batterieen, die indessen ohne Unterbrechung wirken würden, oder deren Ladung sich nach jeder Entladung von selbst wieder herstellen würde; mit einem Worte Batterieen mit einer unzerstörbaren Ladung. Im übrigen weicht jener Apparat aber von einer Batterie wesentlich ab, und zwar nicht nur darin, dafs er eine beständige Wirkung äufsert. Während nämlich die elektrischen Flaschen und Batterieen aus einer oder aus mehreren isolierenden Platten oder aus dünnen Schichten derartiger Stoffe bestehen, welche allein als Sitz der Elektricität gelten und mit Leitern oder sogenannten anelektrischen Stoffen belegt sind, besteht dieser neue Apparat einzig aus mehreren dieser letzteren Stoffe.

---

[1]) Aus Volta's Brief an den Präsidenten der Royal Society übersetzt von Friedrich Dannemann. Das Schreiben war datiert vom 20. März 1800; es war in französischer Sprache abgefafst und wurde in den Philosophical Transactions of the Royal Society, Jahrgang 1800, S. 403—431 veröffentlicht.

Unter diesen werden sogar die besten Leiter ausgewählt, die nach dem, was man immer geglaubt hat, am wenigsten elektrischer Natur sind. In der That, der Apparat, von dem ich rede und der Sie ohne Zweifel in Erstaunen setzen wird, besteht nur in der Vereinigung einer Anzahl guter Leiter von verschiedener Art, welche auf eine gewisse Weise angeordnet sind. Dreifsig, vierzig, sechzig oder mehr Kupferstücke oder noch besser Stücke aus Silber, jedes in Verbindung mit einem Stück Zinn oder, was weit besser ist, einem Stück Zink; ferner eine gleiche Anzahl Wasserschichten oder Schichten einer anderen Flüssigkeit, welche besser leitet, als das gewöhnliche Wasser, z. B. Salzwasser, Lauge oder dergleichen, oder auch Stücke aus Pappe oder Leder, wohl getränkt mit diesen Flüssigkeiten; endlich derartige Schichten eingeschaltet zwischen jedem Paar der beiden verbundenen verschiedenartigen Metalle; eine solche Anordnung dieser drei Leiter stets in derselben Folge wiederholt: das ist alles, woraus mein neuer Apparat besteht. Derselbe gleicht, wie ich schon sagte, in seinen Wirkungen den Leydener Flaschen oder elektrischen Batterieen, da er dieselben Erschütterungen wie jene giebt, jedoch steht er weit hinter den genannten stark geladenen Batterien zurück hinsichtlich der Kraft und des Geräusches der Entladungen und hinsichtlich des Funkens und der Schlagweite. Er gleicht in seinen Wirkungen einer nur sehr schwach geladenen Batterie, der aber eine aufserordentliche Kapacität zukommt; andererseits übertrifft er derartige Batterieen darin, dafs es nicht nötig ist, ihn vorher wie jene mit Hilfe fremder Elektricität zu laden, sowie auch darin, dafs er fähig ist, jedesmal, wenn man ihn passend berührt, einen Schlag zu geben, wie oft auch die Berührung stattfinden möge.

Diesen Apparat, welcher in seiner Art und wie ich ihn konstruiert habe, auch in seiner Gestalt mit dem natürlichen elektrischen Organ des Zitterrochens und des Zitteraals mehr Ähnlichkeit besitzt als mit der Leydener Flasche und den bekannten elektrischen Batterieen, möchte ich ein künstliches elektrisches Organ nennen. Und in der That, besteht er nicht wie dieses einzig und allein aus leitenden Substanzen? Ist er nicht ferner wirksam aus sich selbst heraus ohne vorherige Ladung? Ist er nicht endlich fähig in jedem Augenblick je nach den Umständen mehr oder weniger starke Schläge zu geben, welche sich bei jeder Berührung wiederholen?

Ich lasse jetzt eine ausführlichere Beschreibung dieses Apparates folgen. Ich verschaffte mir einige Dutzend kleine runde

Platten oder Scheiben aus Kupfer oder besser aus Silber von etwa einem Zoll Durchmesser (beispielsweise Münzen) und eine ebenso grofse Zahl Zinn- oder weit besser Zinkplatten von etwa derselben Form und Gröfse. Aufserdem stelle ich eine genügende Anzahl Scheiben aus Pappe oder Leder oder einer anderen porösen Substanz her, welche imstande ist, viel von der Flüssigkeit aufzusaugen und festzuhalten, mit welcher sie durchtränkt sein müssen, damit die Versuche gelingen. Diese durchweichten Platten mache ich ein wenig kleiner als die Metallplatten, damit sie nicht über diese hervorragen, nachdem sie auf eine Weise, die ich gleich beschreiben werde, zwischen die Metallplatten gelegt worden sind.

Habe ich alle diese Dinge in gutem Zustande zur Hand, das heifst die Metallplatten rein und trocken und die anderen nichtmetallischen Scheiben mit Salzlösung wohl durchtränkt, so habe ich sie nur in passender Weise anzuordnen, und diese Anordnung ist einfach und leicht.

Ich lege nämlich horizontal auf einen Tisch oder auf irgend eine Unterlage eine der metallischen Platten, z. B. eine Silberplatte und bedecke sie mit einer Platte von Zink; hierüber schichte ich eine der durchweichten Scheiben, dann eine zweite Silberplatte, auf diese folgt sofort eine andere von Zink, auf welche ich wiederum eine durchweichte Scheibe folgen lasse. So fahre ich in derselben Weise fort, indem ich eine Silberplatte stets in derselben Weise zu einer Zinkplatte füge, d. h. das Silber immer zu unterst und das Zink darüber oder umgekehrt, je nachdem ich begonnen habe. Indem ich ferner zwischen diese Plattenpaare feuchte Scheiben einschalte, fahre ich fort, aus mehreren dieser Stockwerke eine Säule von solcher Höhe aufzubauen, dafs sie sich halten kann, ohne umzufallen. Sobald dieselbe etwa 20 solcher Stockwerke oder Metallpaare enthält, wird sie schon den Fingern, mit denen man ihre Enden (den Kopf und den Fufs einer solchen Säule) berührt, einen oder mehrere kleine Erschütterungen zu erteilen vermögen, deren Zahl davon abhängt, wie oft man diese Berührung wiederholt. Jeder dieser Schläge gleicht vollkommen jener leichten Erschütterung, welche eine schwach geladene Leydener Flasche oder ein aufs Äufserste erschöpfter Zitterrochen zu erteilen vermögen.

Um diese leichten Erschütterungen von dem Apparat zu empfangen, ist es erforderlich, dafs die Finger, mit denen man seine beiden Enden zu gleicher Zeit berühren will, mit Wasser benetzt werden, damit die Haut, welche sonst kein guter Leiter sein würde, angefeuchtet ist. Endlich, um ganz sicheren Erfolg zu haben und er-

heblich kräftigere Schläge zu erhalten, mufs man vermittelst eines genügend breiten Streifens oder eines dicken Drahtes aus Metall den Fufs der Säule (s. Fig. 39) mit dem Wasser eines genügend grofsen Behälters in Verbindung setzen, in welchen man einen, zwei oder drei Finger oder die ganze Hand eintaucht, während man sich anschickt, den Kopf der Säule mit dem blankgeputzten Ende einer gleichfalls metallischen Platte zu berühren. Letztere packt man mit der anderen gut angefeuchteten Hand an, sodafs man eine grofse Fläche dieser Platte unter kräftigem Drucke berührt. Bei diesem Verfahren empfinde ich ein leises Prickeln oder einen leichten Schlag in den Gelenken des Fingers, den ich in den Behälter tauche, wenn ich mit der anderen Hand das vierte oder auch nur das dritte Plattenpaar berühre. Berühre ich darauf das fünfte, das sechste und so nach und nach die übrigen bis zur letzten Platte, welche den Kopf der Säule bildet, so wird man durch die Thatsache in Erstaunen gesetzt, dafs die Erschütterungen schrittweise an Stärke zunehmen, und zwar in solchem Mafse, dafs ich von einer derartigen aus zwanzig Plattenpaaren gebildeten Säule Schläge erhalte, welche sich über den ganzen Finger erstrecken und sogar ein wenig schmerzen.

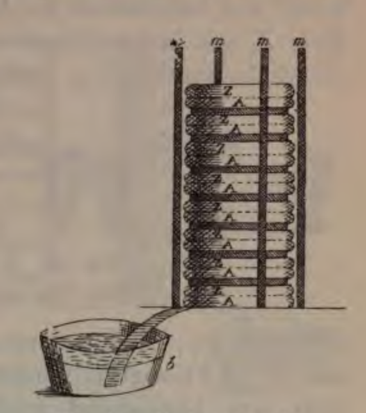


Fig. 39. Voltas Säule. (Philos. Transact. 1800. Plate XVII, Fig. 2.)

Mein Apparat ist mehrerer Abänderungen fähig. Ich will hier nicht alle beschreiben, welche ich ausgedacht und ausgeführt habe, sondern nur einige, welche eine wirkliche Verbesserung bedeuten, sei es, dafs sie sich leichter ausführen lassen, sei es, dafs sie weniger leicht versagen oder länger in gutem Zustande verbleiben.

Um mit einem dieser Apparate zu beginnen, der fast alle diese Vorzüge in sich vereinigt, indessen, was seine Form anlangt, am meisten von dem oben beschriebenen Säulenapparat abweicht, führe ich diesen neuen Apparat in der umstehenden Abbildung vor. Man stellt nämlich eine Reihe von Bechern auf, die aus irgend einem nichtmetallischen Stoff bestehen, sei es aus Holz, Thon oder noch besser aus Glas. Man füllt dieselben zur Hälfte mit Salzwasser oder Lauge. Dann setzt man sie sämtlich in Verbindung, sodafs sie eine Art Kette bilden. Dies geschieht vermittelst einer

Die Wirkungen, welche ein aus 40 oder 50 Plattenpaaren hergestellter Apparat hervorruft, beschränken sich nicht auf Erschütterungen, sondern er erregt auch die Organe des Geschmacks-, des Gesichts-, des Gehör- und des eigentlichen Gefühlssinnes und ruft in ihnen die einem jeden entsprechenden Empfindungen hervor.

Wenn ich durch Eintauchen der Hand in das Wasser des Behälters einerseits eine gute Verbindung mit einem der Enden meines Apparates herstelle, und andererseits auf die angefeuchtete Stirn oder auf die Nasenspitze oder irgend einen anderen Körperteil, dessen Haut genügend empfindlich ist, das Ende eines Metalldrahts drücke, welcher mit dem anderen Ende des genannten Apparates verbunden ist, so fühle ich in dem Augenblicke, in welchem der leitende Kreis geschlossen wird, an der berührten Stelle der Haut und ein wenig darüber hinaus, einen Schlag und einen Stich, die schnell vorübergehen und sich so oft wiederholen, wie man diesen Kreis öffnet und schliefst, dergestalt, dafs dieser Wechsel, wenn er häufig stattfindet, ein sehr unangenehmes Prickeln und Stechen hervorruft. Bleibt jedoch die Verbindung ohne eine Unterbrechung des Kreises bestehen, so fühlt man einige Augenblicke nichts mehr; darauf entsteht aber in dem von dem Drahtende berührten Körperteil eine andere Empfindung, nämlich ein scharfer ohne Erschütterung auftretender Schmerz, der sich auf die berührte Stelle beschränkt, ein Brennen, das nicht nur andauert, sondern immer stärker und schliefslich unerträglich wird und welches erst aufhört, wenn man den Kreis unterbricht. Welch ein augenscheinlicher Beweis dafür, dafs der elektrische Strom andauert, solange die leitenden Substanzen, welche den Kreis bilden, in Verbindung stehen, und dafs erst, wenn wir diese Verbindung aufheben, ein solcher Strom unterbrochen wird. Dafs das elektrische Fluidum unaufhörlich kreist, kann paradox erscheinen und unerklärlich sein. Nichtsdestoweniger ist es thatsächlich so; es läfst sich sozusagen mit den Händen greifen.

als wenn es eine einzige Säule wäre. Man kann in der
Figur 41 als eine nur geknickte Säule ansehen.
tlichen er-
bbildungen
erschieden-
etallplatten
Buchstaben
(die An-
taben von
l zinc) und
eichten, aus
Leder her-
Scheiben,
ischen den
en einge-
nd, durch
hwarzen

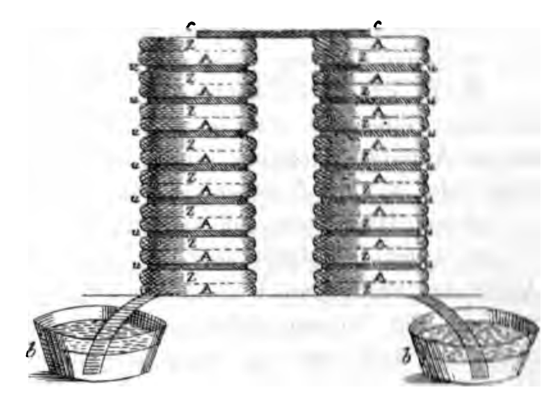


Fig. 41. Voltas aus zwei Teilen zusammengesetzte Säule.

ntlich gemacht. Die punktierten Linien bezeichnen die
sflächen der Metalle innerhalb eines jeden Paares; c c
etallplatte, welche einen Säulenteil mit dem anderen
ung setzt; und b, b sind die Wasserbehälter, welche mit
ı oder Enden der Säulen in Verbindung stehen.

o aufgebauter Apparat ist ganz handlich und nicht zu
ı kann ihn noch besser tragbar machen, wenn man jede
ine Hülse oder Röhre einschliefst. Es ist nur schade,
h nicht lange hält. Die durchweichten Platten trocknen
: zwei Tagen ein, sodafs man sie von neuem anfeuchten
s läfst sich allerdings bewerkstelligen, ohne dafs man
n Apparat auseinandernimmt, wenn man die Säulen
Vasser taucht und darauf von aufsen mit Leinen oder
) gut wie möglich abtrocknet.

)este Verfahren, den Apparat so dauerhaft zu machen,
ur wünschen kann, würde darin bestehen, das zwischen
paaren befindliche Wasser einzuschliefsen und zurück-
nd diese Platten in ihrer Lage zu erhalten, indem man
Säule mit Wachs oder Pech überzieht. Aber das ist
schwierig in der Ausführung und erfordert viel Geduld.
· aber dennoch gelungen: und ich habe auf diese Weise
ler von zwanzig Metallpaaren hergestellt, welche noch nach
Wochen gute Dienste leisten und es hoffentlich auch
Monaten thun werden.

mit einem Blatte, und wir können verleitet werden, sie für besondere Organe anzusehen. Mitunter erscheinen sie als wirkliche Blätter, ihre Adern sind der feinsten Ausbildung fähig, und ihre Ähnlichkeit mit den folgenden Blättern erlaubt uns nicht, sie für besondere Organe zu halten, wir erkennen sie vielmehr als die ersten Blätter des Stengels.

Die Samenlappen sind meist gedoppelt, und wir finden hierbei eine Bemerkung zu machen, welche uns in der Folge noch wichtiger erscheinen wird. Es sind nämlich die Blätter des ersten Knotens oft auch dann gepaart, wenn die folgenden Blätter des Stengels abwechselnd stehen; es zeigt sich hier also eine Annäherung und Verbindung von Teilen, welche die Natur in der Folge trennt und von einander entfernt. Noch merkwürdiger ist es, wenn die Samenlappen als viele Blättchen um eine Achse versammelt erscheinen, und der aus ihrer Mitte sich nach und nach entwickelnde Stengel die folgenden Blätter einzeln um sich herum hervorbringt, welcher Fall sich sehr genau an dem Wachstum der Kiefern bemerken läfst. Hier bildet ein Kranz von Nadeln gleichsam einen Kelch, und wir werden in der Folge bei ähnlichen Erscheinungen uns des gegenwärtigen Falles wieder zu erinnern haben.

Dagegen bemerken wir, dafs selbst die blattähnlichsten Samenlappen, gegen die folgenden Blätter des Stengels gehalten, immer weniger ausgebildet erscheinen. Vorzüglich ist ihr Rand höchst einfach und an demselben sind wenig Spuren von Einschnitten zu sehen.

Einige oder mehrere der nun folgenden Blätter sind oft schon in dem Samen vorhanden und liegen zwischen den Lappen eingeschlossen; sie sind in ihrem zusammengefalteten Zustande unter dem Namen des Federchens bekannt. Ihre Gestalt verhält sich gegen die Gestalt der Samenlappen und der folgenden Blätter an verschiedenen Pflanzen verschieden. Doch weichen sie meist von den Samenlappen schon darin ab, dafs sie flach, zart und überhaupt als wahre Blätter gebildet sind, sich völlig grün färben, auf einem sichtbaren Knoten ruhen und ihre Verwandtschaft mit den folgenden Stengelblättern nicht mehr verläugnen können. Letzteren stehen sie aber gewöhnlich noch darin nach, dafs ihr Rand nicht vollkommen ausgebildet ist.

Doch breitet sich die fernere Ausbildung unaufhaltsam von Knoten zu Knoten durch das Blatt aus, indem sich die mittlere Rippe desselben verlängert und die von ihr entspringenden Nebenrippen sich mehr oder weniger nach den Seiten ausstrecken. Die

ätter erscheinen nunmehr eingekerbt, tief eingeschnitten, aus ehreren Blättchen zusammengesetzt, in welchem Falle sie uns llkommen kleine Zweige vorbilden. Von einer solchen allmähhen Vermannigfaltung der einfachsten Blattgestalt giebt uns e Dattelpalme ein auffallendes Beispiel[1]). In einer Folge von ehreren Blättern schiebt sich eine Mittelrippe vor, das fächertige einfache Blatt wird zerrissen, abgeteilt, und ein höchst zummengesetztes, mit einem Zweige wetteiferndes Blatt wird entckelt.

Den Übergang zum Blütenstande sehen wir schneller oder langmer geschehen. Im letzteren Falle bemerken wir gewöhnlich, fs die Stengelblätter ihre mannigfaltigen äufseren Einteilungen rlieren, dagegen an ihren unteren Teilen, wo sie mit dem Stengel sammenhängen, sich mehr oder weniger ausdehnen. Sehen wir ese Umwandlung schnell vor sich gehen, so rückt der Stengel, n dem Knoten des letzten ausgebildeten Blattes an auf einmal rlängert und verfeinert, in die Höhe und versammelt an seinem nde mehrere Blätter um eine Achse.

Dafs die Blätter des Kelches eben dieselben Organe sind, elche sich bisher als Stengelblätter sehen lassen, nun aber in it sehr veränderter Gestalt um einen gemeinschaftlichen Mittelunkt versammelt stehen, läfst sich, wie uns dünkt, auf das Deutchste nachweisen. Wir haben schon oben bei den Samenlappen ine ähnliche Wirkung der Natur bemerkt. So zeigen die Nadelölzer, indem sie sich aus dem Samenkorn entwickeln, einen Kranz on unverkennbaren Nadeln; und wir sehen in der ersten Kindheit ieser Pflanze schon diejenige Kraft der Natur gleichsam angeeutet, durch welche in ihrem Alter der Blüten- und Fruchtstand ebildet werden soll.

Diese Kraft der Natur, welche mehrere Blätter um eine Achse ersammelt, sehen wir eine noch innigere Verbindung bewirken nd sogar diese zusammengebrachten Blätter noch unkenntlicher achen, indem sie dieselben unter einander manchmal ganz, oft

---

[1]) Die Betrachtung einer Dattelpalme im botanischen Garten zu Padua at Goethe in hohem Grade angeregt und zur Ausreifung seiner morphogischen Vorstellungen beigetragen, wie er in der Geschichte seiner botanischen udien selbst mitteilt. Goethe erzählt dort, dafs er darauf allen Gestalten ihren Veränderungen nachgegangen sei; am letzten Ziel seiner Reise, in cilien, sei ihm die ursprüngliche Identität aller Pflanzenteile vollkommen klar worden, er habe nunmehr gesucht, diese überall zu verfolgen und wahrnehmen.

aber nur zum Teil, verbindet. Die so nahe gerückten Blätter stellen uns die glockenförmigen oder sogenannten einblätterigen Kelche dar, welche mehr oder weniger von oben eingeschnitten oder geteilt uns ihre Zusammensetzung aus ursprünglich getrennten Teilen deutlich zeigen.

Den Übergang des Kelches zur Krone können wir in mehr als einem Falle beobachten; denn obgleich die Farbe des Kelches noch gewöhnlich grün und der Farbe der Stengelblätter ähnlich bleibt, so verändert sich dieselbe doch oft an einem oder dem anderen seiner Teile, an den Spitzen, den Rändern, dem Rücken oder gar an seiner Innenseite, indessen die äufsere Seite noch grün bleibt.

Die Verwandtschaft der Krone mit den Stengelblättern zeigt sich uns auch auf mehr als eine Art, denn es erscheinen an mehreren Pflanzen Stengelblätter schon mehr oder weniger gefärbt, lange bevor sie sich dem Blütenstande nähern; andere färben sich vollkommen in der Nähe des Blütenstandes. Auch geht die Natur manchmal, indem sie das Organ des Kelches gleichsam überspringt, unmittelbar zur Krone über; und wir haben Gelegenheit, in diesem Falle gleichfalls zu beobachten, dafs Stengelblätter in Kronenblätter übergehen. So zeigt sich z. B. manchmal an den Tulpenstengeln ein beinahe völlig ausgebildetes und gefärbtes Kronenblatt. Ja noch merkwürdiger ist der Fall, wenn ein solches Blatt halb grün und mit seiner einen Hälfte zum Stengel gehörig, an demselben befestigt bleibt, indes ein anderer gefärbter Teil mit der Krone emporgehoben und so das Blatt in zwei Teile zerrissen wird.

Sehr nahe ist die Verwandtschaft der Kronenblätter mit den Staubgefäfsen. Die Natur zeigt uns in einigen Fällen diesen Übergang regelmäfsig, z. B. bei Canna und mehreren Pflanzen dieser Familie[1]). Ein wahres, wenig verändertes Kronenblatt zieht sich am oberen Rande zusammen, und es zeigt sich dort ein Staubbeutel, bei welchem das übrige Blatt die Stelle des Staubfadens vertritt. An Blumen, welche gefüllt erscheinen, können wir diesen Übergang in allen seinen Stufen beobachten. Bei mehreren Rosenarten zeigen sich innerhalb der vollkommen gebildeten und gefärbten Kronenblätter andere, welche teils in der Mitte, teils an der Seite zusammengezogen sind. Diese Zusammenziehung wird

[1]) Arten der Gattung Canna werden häufig als Zierpflanzen gezogen. Sie gehören zur Familie der Marantaceen. Die Staubgefäfse dieser Pflanzen sind bis auf eins blumenblattartig gestaltet und besitzen keine Staubbeutel.

von einer kleinen Schwiele bewirkt, welche sich mehr oder weniger als ein vollkommener Staubbeutel sehen läſst, und in eben diesem Grade nähert sich das Blatt der einfacheren Gestalt eines Staubgefäſses.

Der Griffel sieht in vielen Fällen fast einem Staubfaden ohne Beutel gleich, und ihre Verwandtschaft ist äuſserlich gröſser als die der übrigen Teile. Rückschreitend zeigt uns die Natur häufig den Fall, daſs sie die Griffel und Narben wieder in Blumenblätter verwandelt; z. B. füllt sich der Ranunculus asiaticus dadurch, daſs sich die Narben und Griffel des Fruchtbehälters zu wahren Kronenblättern umbilden, während die Staubgefäſse gleich hinter der Krone unverändert gefunden werden.

Auch in den Samenbehältern werden wir, unerachtet ihrer mannigfaltigen Bildung, ihrer besonderen Bestimmung und Verbindung unter einander, die Blattgestalt nicht verkennen. So wäre z. B. die Hülse ein einfaches, zusammengeschlagenes, an seinen Rändern verwachsenes Blatt, die Schote würde aus mehr übereinandergeschlagenen Blättern bestehen[1]), die zusammengesetzten Gehäuse erklären sich aus mehreren Blättern, welche sich um einen Mittelpunkt vereinigt, ihr Innerstes gegen einander aufgeschlossen und ihre Ränder mit einander verbunden haben. Wir können uns hiervon durch den Augenschein überzeugen, wenn solche zusammengesetzten Kapseln nach der Reife von einander springen, da dann jeder Teil derselben sich als eine geöffnete Hülse zeigt.

---

39. Die Begründung der Blütenbiologie.

C. K. Sprengel, Das entdeckte Geheimnis der Natur im Bau und in der Befruchtung der Blumen. 1793[2]).

Christian Konrad Sprengel, geboren 1750 in Brandenburg a. H., studierte Philologie, war zunächst Lehrer in Berlin, dann Rektor in Spandau und starb 1816 in Berlin. Sein Werk, von dem hier

---

[1]) In Wahrheit bildet sich die Schote dadurch, daſs zwei Blätter mit ihren Rändern verwachsen; die Fächerung entsteht durch eine die Verwachsungsstellen verbindende häutige Gewebeplatte, die sogenannte falsche Scheidewand.

[2]) Ostwalds Klassiker der exakten Wissenschaften Nr. 48—51. Herausgegeben von Paul Knuth. Leipzig, Verlag von Wilhelm Engelmann 1894.

die Einleitung im Auszuge wiedergegeben werden soll, fand bei seinen noch vorwiegend der Systematik huldigenden Zeitgenossen kein Verständnis. Erst Charles Darwin entrifs es der Vergessenheit und brachte den Namen Sprengels zu Ehren. Näheres über letzteren siehe Bd. II d. Grdr. (1. Aufl.) S. 279 u. f.

Vorbereitung.

Ich hoffe, dafs der Inhalt dieses Buches auch für solche Personen einiges Interesse haben wird, die an der Betrachtung der Werke der Natur ein Vergnügen finden, welchen es aber an Zeit oder Gelegenheit gefehlt hat, sich eine wissenschaftliche Kenntnis von diesen Werken überhaupt und von den Pflanzen insonderheit zu verschaffen. Da diese Personen nun, ohne einen Begriff von den Teilen der Blumen zu haben, das Buch schwerlich verstehen werden, so habe ich es für meine Pflicht gehalten, für sie folgende kurze Anweisung aufzusetzen, wobei ich die einem jeden bekannte, obgleich in manchen Stücken von dem gewöhnlichen Bau der Blumen abweichende Tulpe zu Grunde legen will.

Wenn wir in eine Tulpe, welche sich geöffnet hat, hineinsehen, so erblicken wir in der Mitte derselben einen länglichen, dreiseitigen Körper, welcher Stempel genannt wird. Derselbe besteht aus zwei Teilen. Der unterste längere Teil heifst Fruchtknoten und wird zuletzt zur Samenkapsel. Da nun die eigentliche Absicht der Natur, aus der sie die Blume hervorbringt, dahin geht, Samenkörner, d. i. Pflanzenkeimlinge zu erzeugen, so ist dieser Teil der wichtigste unter allen, und die übrigen sind blofs seinetwegen da. Der oberste, kürzere, dreiteilige Teil des Stempels heifst Narbe. Wozu diese dient, kann man nicht einsehen, bevor man nicht weifs, was ein Staubgefäfs ist. Um den Stempel herum stehen nämlich sechs Körper, welche man Staubgefäfse nennt. Ein jedes von ihnen besteht aus zwei Teilen. Den untersten nennt man Faden, den obersten, welchen der Faden trägt, Staubbeutel. Sämtliche Staubbeutel sind mit Staub bedeckt, welchen sie selbst bereitet haben. Dieser Staub dient zur Befruchtung des Fruchtknotens oder vielmehr der in demselben befindlichen jungen Samen; und wenn nicht ein hinlänglicher Teil des Staubes auf die Narbe gebracht wird, so kann aus dem Fruchtknoten keine mit guten und zur Fortpflanzung tüchtigen Samenkörnern angefüllte Samenkapsel werden. Wenn aber der Staub auf die Narbe gekommen ist, so dringt zwar nicht er selbst,

da er viel zu grob ist, aber doch das feine, befruchtende Wesen, welches er enthält, durch die Narbe hindurch in das Innere des Fruchtknotens hinein und wirkt auf die Samenkeime [1]). Wegen der Ähnlichkeit dieser Befruchtungsart mit derjenigen im Tierreich nennt man die Staubgefäſse den männlichen, den Stempel dagegen den weiblichen Befruchtungsteil; un des ist leicht einzusehen, daſs dieses die wesentlichsten Teile der Blume sind.

Da nun die Tulpe sowohl männliche als weibliche Befruchtungsteile hat, so ist sie eine Zwitterblume. Hätte sie bloſs Staubgefäſse aber keinen Stempel, so würde sie eine männliche, und umgekehrt, wenn sie zwar einen Stempel aber keine Staubgefäſse hätte, eine weibliche Blume sein. Eine Zwitterblume ist an und für sich imstande, eine Frucht anzusetzen. Eine weibliche Blume kann schlechterdings keine Frucht ansetzen, wenn nicht auch eine männliche vorhanden ist, von welcher sie Staub erhält; und eine männliche kann zwar selbst keine Frucht ansetzen, verursacht aber, daſs die weibliche solches thun kann. Hieraus folgt, daſs es Pflanzen geben könne, welche bloſs Zwitterblumen hervorbringen, aber keine, welche bloſs männliche oder bloſs weibliche Blumen haben.

Um die Befruchtungsteile der Tulpe herum finden wir sechs Blätter, welche gefärbt sind, d. h. eine andere Farbe haben als die grüne. Diese Blätter machen zusammen die Krone aus. Ständen um sie herum noch einige Blätter, welche sich sowohl durch die Gestalt als durch die Farbe von jenen unterschieden, so würde man dieselben den Kelch nennen. Ein solcher Kelch ist bei den meisten Blumen vorhanden.

Der oberste Teil des langen Blumenstiels oder vielmehr des Schaftes, welchem alle dreizehn Bestandteile der Tulpe angefügt sind, heiſst der Boden.

Einleitung.

Als ich im Sommer 1787 die Blume des Waldstorchschnabels (Geranium sylvaticum) aufmerksam betrachtete, fand ich, daſs der unterste Teil ihrer Kronenblätter auf der inneren Seite und an

1) Daſs aus dem Staubkorn ein Pollenschlauch hervorwächst, der den Griffel durchdringt und sich mit der Samenknospe vereinigt, wurde erst seit dem Jahre 1823 durch Amici und andere festgestellt. Sprengel glaubte, daſs ein aus den Pollenkörnern hervorschwitzendes Öl die befruchtende Substanz sei.

den beiden Rändern mit feinen, weichen Haaren versehen war. Überzeugt, dafs der weise Urheber der Natur auch nicht ein einziges Härchen ohne eine gewisse Absicht hervorgebracht hat, dachte ich darüber nach, wozu denn wohl diese Haare dienen möchten. Hier fiel mir bald ein, dafs wenn man voraussetzte, die fünf Safttröpfchen, welche von ebenso viel Drüsen abgesondert werden, seien gewissen Insekten zur Nahrung bestimmt, man es zugleich nicht unwahrscheinlich finden müfste, es sei dafür gesorgt, dafs dieser Saft nicht vom Regen verdorben werde, und zur Erreichung dieser Absicht seien jene Haare hiér angebracht.

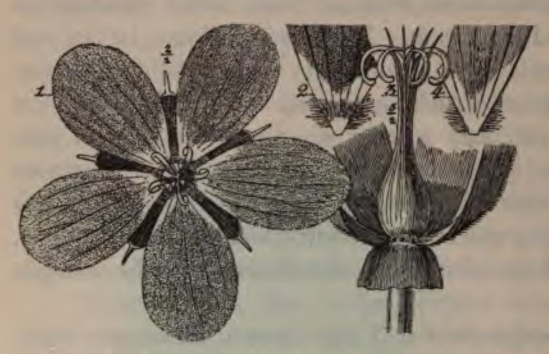


Fig. 42. Die Blüte des Sumpfstorchschnabels.
(Aus Sprengel, das entdeckte Geheimnis der Natur.)

Die nebenstehenden Abbildungen können zur Erläuterung dessen dienen, was ich sage. Sie stellen den Sumpfstorchschnabel (Geranium palustre) vor, welcher dem Waldstorchschnabel sehr ähnlich ist. Jedes Safttröpfchen sitzt auf seiner Drüse unmittelbar unter den Haaren, welche sich an dem Rande der zwei nächsten Kronenblätter befinden. Da die Blume aufrecht steht und ziemlich grofs ist, so müssen, wenn es regnet, Regentropfen in dieselbe hineinfallen. Es kann aber keiner von denselben zu einem Safttröpfchen gelangen und sich mit demselben vermischen, indem er von den Haaren, welche sich über dem Safttröpfchen befinden, aufgehalten wird, so wie ein Schweifstropfen, welcher von der Stirn des Menschen herabgeflossen ist, von den Augenbrauen und Augenwimpern aufgehalten und verhindert wird, in das Auge hineinzufliefsen. Ein Insekt hingegen wird durch diese Haare keineswegs verhindert zu den Safttröpfchen zu gelangen. Ich untersuchte hierauf andere Blumen und fand, dafs verschiedene derselben etwas in ihrem Bau hatten, welches eben diesem Endzwecke zu dienen schien. Je länger ich diese Untersuchung fortsetzte, desto mehr sah ich ein, dafs diejenigen Blumen, welche Saft enthalten, so eingerichtet sind, dafs zwar die Insekten sehr leicht zu demselben gelangen können, der Regen aber ihn nicht verderben kann. Ich schlofs hieraus, dafs der Saft dieser

Blumen, wenigstens zunächst, um der Insekten willen abgesondert wird, und dafs er, damit sie denselben rein und unverdorben geniefsen können, gegen den Regen gesichert sei.

Im folgenden Sommer untersuchte ich das Vergifsmeinnicht (Myosotis palustris). Ich fand nicht nur, dafs diese Blume Saft hat, sondern auch, dafs dieser Saft gegen den Regen völlig gesichert ist. Zugleich aber fiel mir der gelbe Ring auf, welcher die Öffnung der Kronenröhre umgiebt und gegen die himmelblaue Farbe des Kronensaums so schön absticht. Sollte wohl, dachte ich, dieser Umstand sich auch auf die Insekten beziehen? Sollte die Natur wohl diesen Ring zu dem Ende so schön gefärbt haben, damit derselbe den Insekten den Weg zum Safthalter zeige? Ich betrachtete in Rücksicht auf diese Annahme andere Blumen und fand, dafs die meisten sie bestätigten. Denn ich sah, dafs diejenigen Blumen, deren Krone an einer Stelle anders gefärbt ist, diese Flecken, Figuren, Linien oder Tüpfel von besonderer Farbe immer dort haben, wo sich der Eingang zum Safthalter befindet. Nun schlofs ich vom Teil auf das Ganze. Wenn, dachte ich, die Krone wegen der Insekten an einer besonderen Stelle besonders gefärbt ist, so ist sie überhaupt der Insekten wegen gefärbt; und wenn jene besondere Farbe eines Teiles der Krone dazu dient, dafs ein Insekt, welches sich auf die Blume gesetzt hat, den rechten Weg zum Saft leicht finden könne, so dient die Farbe der Krone dazu, dafs die mit einer solchen Krone versehenen Blumen den ihrer Nahrung wegen in der Luft umherschwärmenden Insekten als Saftbehältnisse schon von weitem in die Augen fallen.

Als ich darauf einige Arten der Iris untersuchte, fand ich bald, dafs diese Blumen schlechterdings nicht anders befruchtet werden können als durch Insekten. Ich untersuchte, ob auch andere Blumen so gebaut seien, dafs ihre Befruchtung nicht anders als durch Insekten geschehen könne. Meine Untersuchungen überzeugten mich immer mehr davon, dafs viele, ja vielleicht alle Blumen, welche Saft haben, von den Insekten, die sich von diesem Saft nähren, befruchtet werden. Dann wäre diese Ernährung der Insekten zwar in Ansehung ihrer selbst Endzweck, in Ansehung der Blumen aber nur ein Mittel und zwar das einzige Mittel zu einem gewissen Endzwecke, welcher in ihrer Befruchtung besteht, und der ganze Bau solcher Blumen liefse sich erklären, wenn man bei ihrer Untersuchung folgende Punkte vor Augen hat:

1. Diese Blumen sollen durch diese oder jene Art von Insekten oder durch mehrere Arten derselben befruchtet werden.

2. Dieses soll so geschehen, dafs die Insekten, indem sie dem Saft der Blumen nachgehen und deswegen sich entweder auf den Blumen aufhalten oder in dieselben hineinkriechen, notwendig mit ihrem meist haarigen Körper den Staub der Staubbeutel abstreifen und ihn auf die Narbe bringen. Letztere ist zu diesem Zwecke entweder mit feinen Haaren oder mit einer klebrigen Feuchtigkeit überzogen.

Darauf entdeckte ich an dem Epilobium angustifolium [1]) etwas, worauf ich von selbst nie gekommen sein würde. Diese Zwitterblume wird nämlich von Hummeln und Bienen befruchtet, aber nicht jede Blume vermittelst ihres eigenen Staubes, sondern die älteren Blumen vermittelst desjenigen Staubes, welchen diese Insekten aus den jüngeren Blumen in dieselben schleppen. Diese Entdeckung verbreitete ein helles Licht über viele meiner früheren Entdeckungen.

Als ich endlich die gemeine Wolfsmilch (Euphorbia Cyparissias) untersuchte, fand ich, dafs bei derselben eine Einrichtung besteht, welche das gerade Gegenteil von der soeben erwähnten ist. Diese Blume wird nämlich von Insekten befruchtet, aber so, dafs sie den Staub der älteren Blumen auf die Narben der jüngeren bringen [2]).

Auf diese Hauptentdeckungen gründet sich meine Theorie der Blumen. Ehe ich sie vortrage, mufs ich zwei Vorstellungen erwähnen, welche man sich bisher von dem Endzweck des süfsen Saftes der Blumen gemacht hat. Verschiedene Botaniker haben geglaubt, dafs dieser Saft unmittelbar und zunächst den Blumen selbst zu statten komme, indem er entweder die Befruchtung des Fruchtknotens dadurch befördere, dafs er denselben feucht und geschmeidig mache, oder indem er den Samen bei seiner Tüchtigkeit zu keimen erhalte. Nach dieser Vorstellung würde der Umstand, dafs die Insekten diesem Saft nachgehen, nicht nur für etwas Zufälliges und Nebensächliches, sondern sogar für etwas den Blumen Nachteiliges angesehen werden müssen.

---

[1]) Das in Wäldern häufige schmalblättrige Weidenröschen.

[2]) Diese als Dichogamie bezeichnete ungleichzeitige Entwicklung der Staubgefäfse und Stempel ist das gewöhnlichste und einfachste Mittel, um die Selbstbefruchtung einer Zwitterblume zu vermeiden. Öffnen sich die Staubbeutel, wenn die Narben noch unentwickelt sind, so heifst die Pflanze protandrisch. Wird die Narbe vor der Verstäubung empfängnisfähig, so kann sie nur den Blütenstaub älterer Blumen empfangen; die Pflanze ist dann protogynisch. *Siehe* die späteren Ausführungen Sprengels.

Nun ist zwar in vielen Blumen dieser Saft dem Fruchtknoten nahe genug, in manchen wird er sogar von demselben selbst bereitet und abgesondert; aber hieraus folgt noch nicht, daſs der Saft auch dem Fruchtknoten unmittelbar zu statten komme. Bei vielen Blumen hingegen ist der Saft soweit vom Fruchtknoten entfernt, daſs man nicht begreift, wie er zu demselben gelangen soll.

Die andere Hypothese besagt, daſs die Bienen den Pflanzen Nutzen verschaffen. Der Saft, den die Blumen absondern, werde denselben schädlich, wenn er nicht von den Bienen abgeholt werde. Derselbe sei anfangs flüssig, verändere sich aber, ohne zu verdunsten, häufe sich bald an, werde endlich ganz verdickt und überziehe dort, wo er liegen bleibe, die feinsten Ausgänge und verhindere Ausbildung und Wachstum der Früchte. Diese Hypothese ist der ersten gerade entgegengesetzt. Nach der ersten ist der Saft dem Fruchtknoten nützlich, nach der anderen schädlich; nach der ersten ist der Umstand, daſs der Saft von den Insekten verzehrt wird, etwas Zufälliges und den Blumen Schädliches, nach der anderen ist dieser Umstand den Blumen nützlich und scheint eine Veranstaltung der Natur zu sein.

Bei allen Blumen, welche Saft absondern, müssen folgende fünf Punkte beachtet werden:

1. Die Saftdrüse ist derjenige Teil einer Saftblume, welcher Saft bereitet und absondert. Die Gestalt derselben und der Ort, an welchem sie sich befindet, ist höchst mannigfaltig und verschieden. Oft fällt die Saftdrüse, wenn man die Blume ansieht, sogleich in die Augen; oft ist sie ziemlich versteckt, sodaſs es, besonders wenn sie dabei sehr klein ist, einige Mühe kostet sie zu finden. Endlich ist die Saftdrüse meist gefärbt und selten grün. Die gewöhnlichste Farbe ist gelb, die seltenere weiſs, pomeranzengelb, kirschrot u. s. w. Diese Verschiedenheit der Farbe rührt vermutlich meist von der verschiedenen Beschaffenheit und Mischung ihrer Bestandteile her; zuweilen scheint aber durch dieselbe noch eine gewisse Absicht erreicht werden zu sollen, nämlich daſs die Saftdrüse den Insekten in die Augen falle.

2. Der Safthalter ist derjenige Teil einer Saftblume, welcher den von der Drüse abgesonderten Saft empfängt und enthält. Seine innere Fläche ist jederzeit glatt. Denn wie das Innere derjenigen Gefäſse, in welchen man flüssige Körper aufbewahren will, glatt sein muſs, besonders wenn die flüssigen Körper edel und kostbar sind, damit bei ihrer Entleerung nichts zurückbleibe, ebenso muſs auch der Safthalter inwendig glatt sein, damit die Insekten

den Saft rein aussaugen oder ablecken können. Die Gestalt de Safthalters und der Ort, wo er sich befindet, ist sehr mannigfalti und verschieden. Meist ist derselbe unmittelbar bei der Saftdrüs befindlich, zuweilen von derselben entfernt; oft ist die Saftdrüse selbst zugleich der Safthalter.

3. Die Saftblumen sind so eingerichtet, dafs zu ihrem Saft zwa die Insekten leicht gelangen können. Die Regentropfen aber, welch auf oder in diese Blumen gefallen sind, bleiben immer in einiger En fernung von dem Saft und können sich folglich mit demselben nich vermischen, noch ihn verderben. Wie die Menschen die Öf nungen der Gefäfse, in welchen sie köstliche Flüssigkeiten au bewahren, verschliefsen, damit weder diese Flüssigkeiten verdunste noch Staub, Regen und andere fremdartige Körper sich mit dem selben vermischen, so hat auch der gütige und weise Urheber der Natur, nicht zufrieden damit, dafs er in den Blumen einen köst lichen Saft für die Insekten bereitet hat, die zweckmäfsigsten und vortrefflichsten Anstalten getroffen, damit dieser Saft vor allem Verderb durch den Regen gesichert sei. So gehört dahin vornehm lich, dafs die innere Fläche der Krone mit feinen Haaren über zogen ist, ferner dafs, wenn diese Oberfläche glatt ist, die Krone ein feines Öl auszuschwitzen scheint. In diesen Fällen äufsern die Teile eines auf die Krone gefallenen Regentropfens, weil sie von der Blattfläche wenig angezogen werden, ihre Anziehungskraft mehr gegeneinander, und der Regentropfen bekommt eine kugelförmige Gestalt. Auf solche Art kann er nicht lange in oder auf der Krone haften, sondern mufs, sobald die Blume vom Winde geschüttelt wird, heraus- oder herabfallen. Wenn er aber auch sitzen bleibt so kann er doch nicht bis zum Saft kommen. Er trifft, indem er hinabfliefst, eine Reihe von Haaren an, welche über dem Saft halter angebracht sind und meist nach oben zu mit der Oberfläche der Krone einen spitzen Winkel bilden, folglich dem Tropfen ihre Spitzen zukehren und ihn vom Safthalter abhalten. Oder der Tropfen gerät an einen Ansatz, vor welchem er stehen bleiben mufs. Zuweilen bleibt er zwischen den Staubgefäfsen und der Krone haften und kann nicht zu dem Safttröpfchen, welches unten an den Staubfäden sitzt, gelangen.

---

1) Die Saftdrüsen werden heute Nektarien, der Saft Nektar genannt. Als Safthalter dienen häufig die Aussackungen der Blumenblätter; so besitzt beim Veilchen ein Blumenblatt einen hohlen Sporn, in welchen die Auswüchse zweier Staubgefäfse hineinragen, die den Nektar absondern.

Ferner giebt es hängende Blumen. Sie kehren ihre äufsere Seite den herabfallenden Regentropfen zu, die innere ist denselben wenig oder gar nicht ausgesetzt, besonders wenn sie eine glocken-, walzen- oder kugelförmige Gestalt haben. Nun befindet sich der Saft oben im Grunde dieser Blumen, zu welchem hinaufzusteigen die Regentropfen durch ihre eigene Schwere verhindert werden. Man darf also bei ihnen am wenigsten besondere Anstalten zur Abhaltung der Regentropfen erwarten.

4. Dafs die meisten Blumen Saft absondern, und dafs dieser Saft gegen den Regen gesichert ist, würde den Insekten nichts helfen, wenn nicht zugleich dafür gesorgt wäre, dafs sie dieses ihnen bestimmte Nahrungsmittel leicht finden können. Die Natur, welche nichts halb thut, hat auch in diesem Punkte die zweckmäfsigsten Anordnungen getroffen. Erstlich hat sie dafür gesorgt, dafs die Insekten die Blumen schon von weitem gewahr werden, entweder durch das Gesicht oder durch den Geruch oder durch beide Sinne zugleich. Alle Saftblumen sind deswegen mit einer Krone verziert, und sehr viele verbreiten einen Geruch, welcher den Menschen meist angenehm, oft unangenehm, zuweilen unausstehlich, den Insekten aber, für welche ihr Saft bestimmt ist, jederzeit angenehm ist. Die Krone ist (sehr wenige Arten ausgenommen) gefärbt, d. h. anders gefärbt als grün, damit sie gegen die grüne Farbe der Pflanzen absticht.

Wenn nun ein Insekt, durch die Schönheit der Krone oder durch den angenehmen Geruch einer Blume gelockt, sich auf dieselbe begeben hat, so wird es entweder den Saft sogleich gewahr oder nicht, weil dieser sich an einem verborgenen Orte befindet. Im letzteren Falle kommt ihm die Natur durch das Saftmal zu Hilfe. Dieses besteht aus einem oder mehreren Flecken, Linien, Tüpfeln oder Figuren von einer anderen Farbe als die der Krone; das Saftmal sticht folglich gegen letztere mehr oder weniger ab. Es befindet sich jederzeit da, wo die Insekten hineinkriechen müssen, wenn sie zum Saft gelangen wollen.

Bei Gelegenheit des Saftmals mufs ich von der Verschiedenheit der Saftblumen reden, welche von der Tageszeit, in welcher sie blühen, abhängt. So wie es Insekten giebt, die blofs bei Tage umherschwärmen und solche, die nur des Nachts ihrer Nahrung nachgehen, ebenso giebt es auch Tages- und Nachtblumen. Die Tagesblumen brechen des Morgens auf. Viele von ihnen schliefsen sich des Abends oder senken sich, während sie am Tage aufrecht standen, oder es geht eine andere Veränderung mit ihnen vor,

aus der man schliefsen kann, dafs sie nur für Tagesinsekten bestimmt sind. Die Tagesblumen nun sind mit einem Saftmal geziert, obgleich nicht alle. Die Nachtblumen brechen des Abends auf. Bei Tage sind die meisten von ihnen geschlossen, woraus erhellt, dafs sie für Tagesinsekten nicht bestimmt sind.

Die Nachtblumen haben eine grofse und hellgefärbte Krone, damit sie in der Dunkelheit der Nacht den Insekten in die Augen fallen. Ist die Krone unansehnlich, so wird dieser Mangel durch einen starken Geruch ersetzt. Ein Saftmal hingegen findet sich bei ihnen nicht. Hätte z. B. die weifse Krone einer Nachtblume ein Saftmal von einer anderen aber auch hellen Farbe, so würde dasselbe in der Dunkelheit der Nacht gegen die Farbe der Krone nicht abstechen, folglich ohne Nutzen sein. Hätte sie aber ein dunkelgefärbtes Saftmal, so würde dies nicht in die Augen fallen, folglich ebenso unnütz sein wie jenes.

5. Ich habe schon oben gesagt, dafs alle diese Anstalten sich zwar zunächst und unmittelbar auf die Insekten, vermittelst der Dazwischenkunft dieser aber auf die Blumen selbst beziehen, indem der letzte Endzweck dahin geht, dafs die Blumen von den Insekten befruchtet werden.

Dafs die Insekten zur Befruchtung der Blumen das Ihrige beitragen, ist an und für sich schon von anderen bemerkt worden. Meines Wissens ist Kölreuter[1]) hierin am weitesten gekommen. Es hat aber noch niemand gezeigt, dafs der ganze Bau der Saftblumen auf diesen Endzweck abzielt und sich aus demselben vollständig erklären läfst. Für die Befruchtung der Blumen durch Insekten ist ein unleugbarer Beweis die von mir zuerst entdeckte Einrichtung sehr vieler Zwitterblumen, vermöge welcher jede nicht durch ihren eigenen, sondern blofs durch den Staub einer anderen befruchtet werden kann. Diese Einrichtung nenne ich das ungleichzeitige Blühen oder die Dichogamie. Dieselbe besteht darin: Nachdem die Blume sich geöffnet hat, haben oder erhalten die Staubfäden, entweder alle zugleich oder einer nach dem anderen, eine bestimmte Stellung, in welcher ihre Beutel sich öffnen und den Staub zur Befruchtung darbieten. Unterdessen befindet sich die Narbe an einer von den Staubbeuteln entfernten Stelle und ist noch klein und fest geschlossen. Es kann also der Blüten-

1) D. J. G. Kölreuter, Vorläufige Nachricht von einigen das Geschlecht der Pflanzen betreffenden Versuchen und Beobachtungen (1761—1766). Herausgegeben von W. Pfeffer in Ostwalds Klassikern der exakten Wissenschaften Nr. 41. Verlag von Wilhelm Engelmann, Leipzig 1893.

staub schlechterdings weder auf eine mechanische Art noch durch ein Insekt auf die Narbe gebracht werden, weil sie noch nicht vorhanden ist. Dieser Zustand währt eine bestimmte Zeit. Wenn nach Ablauf derselben die Staubbeutel keinen Staub mehr enthalten, so gehen mit den Fäden verschiedene Veränderungen vor sich, deren Endergebnis darin besteht, dafs die Staubbeutel nicht mehr dieselbe Stelle einnehmen, wie vorher. Unterdessen hat sich der Stempel so verändert, dafs nun die Narbe gerade an der Stelle sich befindet, wo vorher die Staubbeutel waren. Da sie sich nun auch öffnet oder die Teile, aus welchen sie besteht, von einander breitet, so nimmt sie auch ungefähr eben den Raum ein, welchen vorher die Staubbeutel eingenommen haben. Indessen kann sie von den Beuteln keinen Staub erhalten, weil dieselben keinen mehr haben. Nun ist aber diejenige Stelle, wo anfänglich die geöffneten Beutel und nachher die geöffnete Narbe sich befinden, in jeder Blume so gewählt, dafs das Insekt, für welches die Blume bestimmt ist, nicht anders zum Safte gelangen kann, als dafs es gleichzeitig mit einem Teile seines Körpers in der jüngeren Blume die Staubbeutel und in der älteren die Narbe berührt, den Staub von jenen abstreift und auf diese bringt, und auf solche Art die ältere Blume durch die jüngere befruchtet.

Solche dichogamische Zwitterblumen sind also anfangs männliche und zuletzt weibliche Blumen.

Diese Einrichtung hatte ich im Juli an dem Weidenröschen (Epilobium angustifolium) entdeckt. Von dieser Zeit an bis zum Mai des folgenden Jahres bemerkte ich sie an verschiedenen Gattungen, ja an ganzen Familien so leicht und so deutlich, dafs ich mich darüber wundern mufste, dafs sie nicht schon längst von anderen und nicht weit früher von mir entdeckt worden war. Während dieses ganzen Zeitraumes kam mir aber niemals der Gedanke in den Sinn, ob wohl auch das Gegenteil dieser Einrichtung von der Natur möchte beliebt worden sein, ob es also Blumen gäbe, deren Narbe zuerst geöffnet ist, deren Staubgefäfse aber erst nach vollendeter Befruchtung des Fruchtknotens sich öffnen. So natürlich es war, auf diese Vorstellung von selbst zu kommen, so blieb sie mir doch so lange fremd, bis mich die Natur selbst darauf brachte. Dies geschah, als ich im Mai des nächstvergangenen Jahres die Wolfsmilch (Euphorbia Cyparissias) untersuchte. Sobald nämlich eine Blume aufgebrochen war, sah ich zuerst die Narben aus derselben hervorkommen, gerade in die Höhe stehen und sich voneinander breiten. Nach

einigen Tagen kam der ganze Stempel, welcher auf einem eigenen Stielchen sitzt, aus der Blume heraus, verlor nach und nach die aufrechte Stellung und kehrte endlich die Narben der Erde zu[1]). Alsdann erst kamen die Staubgefäfse eines nach dem andern aus der Blume zum Vorschein, und die Staubbeutel nahmen nun eben die Stelle ein, welche vorher die Narben besafsen. Da ich nun schon lange entdeckt hatte, dafs diese Blume eine Saftblume ist, so sah ich ein, dafs sie wegen dieser Einrichtung nicht anders als von Insekten befruchtet werden kann, dafs sie aber auch wegen eben derselben von Insekten befruchtet werden mufs. Denn wenn die Insekten die ältere Blume besuchen, so müssen sie notwendig den Staub abstreifen. Und eben deswegen, damit sie dieses ungehindert thun können, hat der Stempel seine vorige Stelle verlassen und sich der Erde zugekehrt. Wenn sie aber hierauf eine jüngere Blume besuchen, so müssen sie wieder notwendig mit ihrem bestäubten Körper die Narben berühren, dieselben bestäuben und auf solche Art die jüngere Blume mit dem Staube der älteren befruchten.

Was nun die Insekten betrifft, von welchen ich aus Erfahrung beweisen kann, dafs sie die Blumen befruchten, so sind dieses vorzüglich die Bienen und die Hummeln. Die Geschicklichkeit dieser Tierchen, den Saft zu finden, wenn er auch noch so versteckt ist, hat mich oft in Erstaunen versetzt. Wer keine Kenntnis von den Blumen hat, wird vielleicht, wenn er das Löwenmaul (Antirrhinum majus) zum erstenmal sieht, glauben, dafs die Unterlippe desselben mit der Oberlippe ein einziges Stück ausmacht, denn beide schliefsen dicht aneinander. Hat sich aber eine Hummel der Blume genähert, so wird sie nicht etwa erst Versuche anstellen, ob und wie sie hineinkommen kann. Da sie sehr wohl weifs, was der gelbe Fleck bedeutet, so setzt sie sich sogleich auf die Unterlippe, entfernt sie von der Oberlippe und kriecht zwischen beiden in die Blume hinein. Damit diese Tierchen die Blumen befruchten können, ist ihr Körper überall behaart, weil sie den Staub der Beutel abwischen und ihn auf die Narbe bringen sollen.

Dafs nun die Bienen und andere Insekten, indem sie in den Blumen ihrer Nahrung nachgehen, zugleich, ohne es zu wollen und zu wissen, dieselben befruchten und dadurch den Grund zu ihrer und ihrer Nachkommen künftigen Erhaltung legen, scheint mir

[1]) Weidenröschen und Wolfsmilch sind so häufige Pflanzen, dafs der Leser leicht imstande sein wird, sich von der Richtigkeit der Angaben Sprengels zu überzeugen.

eine von den bewunderungswürdigsten Veranstaltungen der Natur zu sein.

Weil die Befruchtung des Fruchtknotens durch Insekten der Endzweck ist, auf welchen sich der ganze Bau der meisten, ja vermutlich aller eigentlichen und mit einer Krone versehenen Saftblumen bezieht, so ist dieser Bau alsdann vollständig erklärt, wenn man gezeigt hat, dafs und wie alle Teile der Saftblumen zur Erreichung dieses Endzwecks das Ihrige beitragen.

Die erste Frage, welche bei Untersuchung irgend einer Blume beantwortet werden mufs, ist die, ob sie eine Saftblume ist oder nicht. Hat man sich davon überzeugt, dafs eine Blume eine Saftblume ist, so ist die zweite Frage, ob dieselbe von Insekten besucht und befruchtet wird.

Wer sich also Blumen aus den Gärten und vom Felde holen läfst und sie auf seinem Zimmer untersucht, der wird keineswegs den Plan der Natur im Bau der Blumen entdecken. Man mufs sie vielmehr an ihrem natürlichen Standort untersuchen und besonders darauf achten, ob sie von Insekten und von welchen Insekten sie besucht werden, wie sich diese verhalten, indem sie in die Blumen hineinkriechen und ihren Saft verzehren, ob sie die Staubbeutel und die Narbe berühren, ob sie irgend eine Veränderung in Ansehung irgend eines Teils der Blumen hervorbringen u. s. w. Kurz, man mufs die Natur auf der That zu ertappen suchen.

Man mufs die Blumen zu verschiedenen Tageszeiten beobachten und untersuchen, damit man erfährt, ob sie Tages- oder Nachtblumen sind, und bei verschiedener Witterung, z. B. während eines Regens und nach demselben, damit man einsieht, auf welche Weise ihr Saft gegen den Regen gesichert ist. Besonders aber sind die Mittagsstunden, wenn die am unbewölkten Himmel hochstehende Sonne warm oder wohl gar heifs scheint, diejenige Zeit, da man fleifsig Beobachtungen anstellen mufs. Denn die Tagesblumen erscheinen alsdann in ihrer gröfsten Schönheit und buhlen mit allen ihren Reizen um den Besuch der Insekten. Die letzteren aber, denen die gröfste Hitze gerade am liebsten ist, sind alsdann in und auf den Blumen in der gröfsten Thätigkeit, ihrer Absicht nach, um im Nektar zu schwelgen, nach der Absicht der Natur aber, um die Blumen gleichzeitig zu befruchten. Im Reiche der Flora, deren Weisheit nicht minder bewunderungswürdig ist als ihre Schönheit, geschehen alsdann Wunderdinge, von welchen der Stubenbotaniker nicht einmal eine Ahnung hat.

Alle Blumen, welche keine eigentliche Krone, noch an Stelle derselben einen ansehnlichen und gefärbten Kelch haben, noch riechen, sind saftleer und werden nicht von den Insekten, sondern auf eine mechanische Art, nämlich durch den Wind befruchtet. Derselbe weht den Staub von den Beuteln an die Narben oder verursacht dadurch, dafs er die Blume schüttelt, dafs der Staub auf die Narben fällt.

Die Blumen, welche vom Winde befruchtet werden, unterscheiden sich von den Blumen der anderen Art durch die gröfsere Menge Staubes. Wenn z. B. die Blumen einer weiblichen Pappel durch den Staub eines benachbarten männlichen Baumes mit Hülfe des Windes befruchtet werden sollen, so mufs der männliche Baum bei weitem mehr Staub bereiten, als gerade zur Befruchtung aller Blumen des weiblichen Baumes nötig ist. Denn der Wind weht nicht jederzeit den Staub gerade auf den weiblichen Baum zu, bringt auch nicht ein jedes Stäubchen gerade auf eine Blume, welche noch nicht befruchtet ist. Auch wäscht der Regen nicht nur viel Staub von den Staubbeuteln ab, da dieselben ihm bei dergleichen Blumen sehr ausgesetzt sind, sondern er schlägt auch den schon abgeflogenen und in der Luft befindlichen Staub nieder. Folglich mufs hier weit mehr Staub vorhanden sein, als gerade zur Befruchtung nötig ist. Dieses wird durch die Erfahrung bestätigt. Die Kiefer (Pinus silvestris) z. B. hat so viel Staub und verstreut denselben in solcher Menge in die Luft, dafs es während ihrer Blütezeit, wie die gemeinen Leute sagen, zuweilen Schwefel regnet. Man schlage z. B. mit einem Stock auf den blühenden Zweig einer Kiefer, so wird man eine grofse Staubwolke hervorbringen. Schlägt man aber auf einen blühenden Johannis- oder Stachelbeerstrauch, so wird sich keine solche Staubwolke zeigen. Die zweilippigen Blumen haben nicht mehr als vier Staubbeutel, einige nur zwei, können also nur wenig Staub bereiten; dieser ist aber zur Befruchtung völlig ausreichend, weil sie nicht durch den Wind, sondern durch die Insekten geschieht.

Hierbei ist noch zu bemerken, dafs jener Versuch, sich von der Menge des Staubes der Blumen von der ersten Art zu überzeugen, bei windstillem Wetter geschehen mufs. Wenn der Wind weht, wird sich wenig oder gar kein Staub zeigen, weil der Wind denselben schon verweht hat. Auch dadurch unterscheiden sich nämlich diese Blumen von den Blumen anderer Art, dafs ihr Staub sehr flüchtig ist und durch das geringste Lüftchen leicht fortgeführt wird. Endlich müssen bei den Blumen der ersten Art

sowohl die Staubbeutel als die Narben frei an der Luft liegen, damit der Wind den Staub von jenen auf diese führen kann. Ferner müssen die Narben von ansehnlicher Gröfse sein. Denn, wenn sie sehr klein sind, kann es nur selten geschehen, dafs sie Staub erhalten. Bei den Blumen der anderen Art hingegen ist weder jenes noch dieses nötig, sondern es kommt bei denselben blofs darauf an, dafs die Beutel und die Narben sich gerade an einer solchen Stelle befinden, dafs sie von dem zur Befruchtung bestimmten Insekt, indem dasselbe in die Blume hineinkriecht, berührt werden müssen. Ist die Narbe in diesem Falle auch noch so klein, so wird sie doch jedesmal von dem Insekt bestäubt.

---

40. Saussure begründet die Ernährungsphysiologie der Pflanzen. 1800.

Saussure, Chemische Untersuchungen über die Vegetation [1]).

Saussure wurde 1767 in Genf geboren und starb daselbst im Jahre 1845. Seine „Chemischen Untersuchungen" (Recherches chimiques sur la végétation) sind eines der hervorragendsten Werke über die Ernährungsphysiologie der Pflanzen, welche hier zum ersten Male quantitativ behandelt wird. Die nachfolgenden Abschnitte sind der Vorrede und dem zweiten Kapitel entnommen, das den Einflufs des kohlensauren Gases auf die Vegetation erörtert.

Die Untersuchungen, mit denen ich mich in diesem Werke beschäftige, haben den Einflufs des Wassers, der Luft und des Humus auf die Pflanzen zum Gegenstande. Ich gedenke indessen nicht in alle Teile dieses ausgedehnten Gebietes einzudringen. Ich werde die Fragen erörtern, welche durch das Experiment entschieden werden können, und auf diejenigen verzichten, welche nur Mutmafsungen Raum geben. Thatsachen allein führen in der Naturgeschichte zur Wahrheit. Indem man diesen Weg verfolgt, ist man gezwungen, anzuerkennen, dafs die Auffindung der

---

1) Chemische Untersuchungen über die Vegetation von Théod. de Saussure. Übersetzt von A. Wieler. Ostwalds Klassiker der exakten Wissenschaften Nr. 15 und 16. Leipzig, Verlag von Wilhelm Engelmann 1890.

von der Natur für die Entwicklung der Pflanzen und für die Zusammensetzung ihrer Stoffe benutzten Mittel noch lange aufserhalb des Bereiches der Möglichkeit für uns liegen wird.

Die Rolle des Wassers und der Gase bei der Ernährung der Gewächse und die Veränderungen der Atmosphäre durch die Pflanzen sind die Gegenstände, welche ich am eingehendsten erforscht habe. Die Beobachtungen von Priestley, Senebier und Ingenhousz[1]) haben die Bahn eröffnet, welche ich durchlief, aber diese Männer haben nicht das Ziel erreicht, welches ich mir setzte.

Die Samen keimen in reinem kohlensauren Gas nicht. Eine kleine Menge dieses Gases (etwa ein Zwölftel), welche der atmosphärischen Luft beigemischt das Wachstum der entwickelten Pflanzen in der Sonne begünstigt, schadet der Keimung und verzögert sie im Lichte wie im Schatten mehr als die gleiche Menge Wasserstoffgas oder Stickstoff. Wenn man unter einen Behälter, unter den man Samen mit reinem Wasser und atmosphärischer Luft keimen läfst, Kali oder eine andere Substanz bringt, die fähig ist das kohlensaure Gas zu absorbieren, welches die Samen mit dem Sauerstoff der umgebenden Luft bilden, so wird ihre Entwicklung dadurch ein wenig beschleunigt. Es schien mir immer, als ob die Keimung sich eher im feuchten Sande oder zwischen zwei feuchten Schwämmen als im Humus abspielte, und als ob der letztere kohlensaures Gas liefere[2]). Im allgemeinen scheint dieses Gas den Gewächsen nur so weit nützlich zu sein, als sie es zersetzen können; und die Samen scheinen im ersten Stadium ihrer Entwicklung diese Zersetzung in wahrnehmbarer Weise nicht aus-

---

[1]) Priestley (1733—1804) erkannte, dafs grüne Pflanzen verdorbene Luft durch Zuführung von Sauerstoff wieder zur Unterhaltung der Atmung und Verbrennung geeignet machen (Philosophical Transactions 1772. Bd. 62. S. 168 und 193 ff.).

Ingenhousz (1730—1799) stellte fest, dafs dies nur im Lichte geschieht, und dafs die Pflanzen im Dunklen Kohlendioxyd ausatmen (Versuche mit Pflanzen 1779; übersetzt von Scherer 1786).

Senebier (1742 -1809) entdeckte endlich, dafs der ausgeschiedene Sauerstoff durch Zersetzung des Kohlendioxyds entsteht. Seine ausgedehnten Untersuchungen über den Einflufs des Lichtes auf die Vegetation fallen in die Jahre 1782—1788.

Näheres über diese drei Forscher siehe Bd. II. d. Grdr.

[2]) Dies ist thatsächlich der Fall, da der Humus in seiner Zusammensetzung zwischen der Pflanzensubstanz und den letzten Oxydationsprodukten derselben, dem Kohlendioxyd und Wasser, steht und sich allmählich in letztere verwandelt.

führen zu können. Es ist jedoch unmöglich zu entscheiden, ob eine vollständige Abwesenheit ihnen schädlich oder nützlich ist, da die Samen beim Keimen eine zu grofse Menge kohlensaures Gas bilden, als dafs man dasselbe ganz entfernen könnte.

Wenn man frisch gekeimte Samen mittelst schwach mit kohlensaurem Gase geschwängertem Wasser ernährt, so scheint es ihnen in dieser Periode weniger günstig zu sein als in späteren Abschnitten ihrer Entfaltung. Ich liefs in zwei Bechern, von denen der eine mit destilliertem, der andere mit angesäuertem Wasser gefüllt war, zwei mit 24 Löchern versehene Platten schwimmen, die dazu bestimmt waren, ebenso viele in destilliertem Wasser gekeimte Erbsen aufzunehmen. Ihre Würzelchen hatten beim Beginne des Versuchs eine Länge von sechs Millimetern.

Nach Verlauf von zehn Tagen hatten sich die Wurzeln im destillierten Wasser um 1,3 dm mehr verlängert als diejenigen in dem gashaltigen Wasser; die Stengel und Blätter waren in demselben Verhältnis entwickelt. Aber nach Verlauf eines Monats, als die durch das gashaltige Wasser ernährten Pflanzen sich stärker entwickelt hatten, unterschieden sie sich nicht mehr von denjenigen, welche in reinem Wasser wuchsen. Diese wurden sogar ihrerseits durch die ersteren übertroffen; denn die Erbsenpflanzen im gashaltigen Wasser hatten nach Verlauf von sechs Wochen eine Zunahme von 46,4 g erfahren, während diejenigen, welche in reinem Wasser wuchsen, um 45,5 g zugenommen hatten.

In den soeben mitgeteilten Versuchen wuchsen die Stengel der Pflanzen in freier Luft und empfingen nur durch die Wurzeln das kohlensaure Gas, welches ihnen im Wasser gelöst geboten wurde. Es blieb mir jetzt noch übrig zu prüfen, ob dies Gas den Pflanzen nützlich ist, wenn es ihnen als Atmosphäre dient.

Mit Hülfe von Wasser liefs ich Erbsen keimen, bis jede Pflanze eine Höhe von ungefähr einem Decimeter erreicht hatte und ein Gramm wog. Alsdann stellte ich für jeden Versuch drei dieser Erbsen in ein Wasserglas, sodafs nur die Wurzeln in diese Flüssigkeit tauchten, und brachte sie zusammen mit verschiedenen Gemischen aus gewöhnlicher Luft und kohlensaurem Gas in Behälter, welche durch Wasser abgesperrt waren. Dieses Wasser wurde mit einer Ölschicht bedeckt, wenn die Behälter mehr als die Hälfte ihres Volumens an kohlensaurem Gas enthielten[1]. Die drei Pflanzen

---

[1]) Offenbar, um zu verhindern, dafs das kohlensaure Gas vom Wasser verschluckt wurde.

hatten bei jedem Versuch eine Atmosphäre von 990 ccm zur Verfügung und nahmen selbst nicht den vierhundertsten Teil ein. Sie wurden täglich während fünf oder sechs Stunden von den direkten Sonnenstrahlen getroffen, welche bei zu grofser Intensität gedämpft wurden.

Die mittlere Gewichtszunahme der während zehn Tage der Sonne ausgesetzten Pflanzen betrug 425 mg für jede Erbse in reiner atmosphärischer Luft. Diese Gewichtszunahme war zum gröfsten Teil oder vielleicht ganz der Zufuhr von flüssigem Wasser, d. h. von Vegetationswasser, zu den Blättern zuzuschreiben, welche sich während des Versuchs entwickelten und ihre feste Substanz aus den noch dicken, an der Pflanze hängenden Keimblättern schöpften. Diese Keimblätter enthielten drei- oder viermal weniger Vegetationswasser als die Blätter, zu deren Entwicklung sie beitrugen. Bei der nämlichen Bestrahlung verwelkten die Pflanzen, sobald sie sich in reinem kohlensauren Gas befanden.

Dasselbe Schicksal erlitten sie in einer Atmosphäre, die drei Viertel oder zwei Drittel des Volumens an kohlensaurem Gas enthielt.

Sie wuchsen sieben Tage lang in einem Gefäfse, das die Hälfte seines Volumens an kohlensaurem Gas enthielt; nach diesem Zeitpunkt hörten sie auf zu wachsen.

Die Pflanzen, deren Atmosphäre ein Viertel des Volumens an kohlensaurem Gas besafs, hielten sich während der zehn für den Versuch bestimmten Tage, gediehen aber wenig. Jede Erbse nahm um 265 mg zu.

Bei einem Achtel an kohlensaurem Gas betrug die mittlere Zunahme 371 mg.

Die mittlere Zunahme jeder Pflanze betrug in einer Atmosphäre, deren kohlensaures Gas den zwölften Teil ausmachte, 583 mg. Ich habe diesen Versuch mehrmals wiederholt, und die Pflanzen gediehen beständig besser darin als in reiner atmosphärischer Luft[1]). Die in letzterer wachsenden Pflanzen veränderten die Luft weder an Reinheit noch an Volumen wahrnehmbar; diejenigen aber, welche in dem künstlichen Gemisch wuchsen, verwandelten fast alles kohlensaure Gas in Sauerstoff.

Priestley hat zuerst erkannt, dafs die Blätter die Eigenschaft besitzen, die durch Verbrennung oder Atmung verdorbene

---

[1]) Darunter versteht Saussure Luft, welche durch Schütteln mit Kalkwasser von Kohlendioxyd befreit ist.

Luft zu verbessern, aber er ist nicht auf die Ursache dieser Erscheinung gekommen. Senebier hat entdeckt, daſs die Blätter das kohlensaure Gas zersetzen, indem sie sich den Kohlenstoff aneignen und das Sauerstoffgas ausscheiden. Er beobachtete, daſs die frischen, der Sonne ausgesetzten Blätter in Quellwasser oder in Wasser, welches leicht mit kohlensaurem Gas geschwängert war, so lange Sauerstoff entwickelten, als kohlensaures Gas im Wasser vorhanden war. Aber man hat die Produkte der Zersetzung des kohlensauren Gases noch nicht analysiert, man hat ferner nicht bestimmt, ob die Menge des ausgeschiedenen Sauerstoffgases gröſser oder geringer oder gleich ist derjenigen Sauerstoffmenge, welche an der Zusammensetzung des kohlensauren Gases teilnimmt. Der Lösung dieser Frage sind die folgenden Versuche gewidmet.

Ich habe aus kohlensaurem Gas und gewöhnlicher Luft, in der das Phosphoreudiometer 21 % Sauerstoff anzeigte, eine künstliche Atmosphäre hergestellt, welche 5,746 Liter einnahm[1]. Kalkwasser[2] zeigte in derselben $7\frac{1}{2}$ % kohlensaures Gas an. Dies Luftgemisch wurde in einen Behälter eingeschlossen, der durch feuchtes Quecksilber abgesperrt war, d. h. Quecksilber, welches mit einer sehr dünnen Wasserschicht bedeckt war, um die Berührung dieses Metalls mit der die Pflanzen umgebenden Luft zu verhindern. Ich habe nämlich festgestellt, daſs diese Berührung dem Leben der Pflanzen bei lange dauernden Versuchen schädlich ist.

In diesen Behälter brachte ich sieben Immergrünpflanzen (Vinca minor L.), von denen jede 2 dm hoch war. Sie nahmen zusammen einen Raum von 10 ccm ein; ihre Wurzeln tauchten in ein besonderes Gefäſs, welches 15 ccm Wasser enthielt. Die Menge dieser Flüssigkeit unter dem Behälter war ungenügend, um eine merkliche Menge kohlensaures Gas zu absorbieren, besonders bei der Temperatur des Raumes, die niemals unter 17° Réaumur sank.

Dieser Apparat wurde sechs Tage hintereinander von 5 bis 11 Uhr morgens den direkten Sonnenstrahlen ausgesetzt, welche stets abgeschwächt wurden, wenn sie stark waren. Am siebenten Tage nahm ich die Pflanzen heraus. Unter Berücksichtigung aller

---

[1]) Das Eudiometer (Luftgütemesser) besteht aus einer graduierten Röhre, in welcher ein bestimmtes Luftquantum über Quecksilber abgesperrt und der Einwirkung Sauerstoff entziehender Mittel (Phosphor nach Berthollet; Schwefelkalium nach Scheele, siehe S. 34) ausgesetzt wird. Die Differenz der Volumina vor und nach dem Versuch zeigt den Sauerstoffgehalt der Luft an.

[2]) Das kohlensaure Gas, CO_2, wird vom Kalkwasser, $Ca(OH)_2$, unter Bildung von kohlensaurem Kalk, $CaCO_3$, absorbiert.

Korrekturen hatte sich das Volumen der Atmosphäre nicht verändert, wenigstens soweit man darüber bei einem Behälter von 1,3 dm Durchmesser urteilen kann, bei dem eine Differenz von 20 ccm kaum zu schätzen ist; darüber hinaus kann aber der Fehler nicht gehen[1]).

Ein vergleichender Versuch hat mir gezeigt, dafs die sieben Immergrünpflanzen, welche ich benutzt hatte, trocken, vor der Zersetzung des kohlensauren Gases, 2,707 g wogen, und dafs sie bei der Verkohlung im geschlossenen Gefäfse 528 mg Kohle lieferten. Die Pflanzen, welche kohlensaures Gas zersetzt hatten, gaben, als sie getrocknet und nach demselben Verfahren verkohlt wurden, 649 mg Kohle. Die Zersetzung des kohlensauren Gases ergab also einen Gewinn von 120 mg Kohlenstoff. Ich liefs gleichfalls Immergrünpflanzen, welche in der von kohlensaurem Gas freien Luft gewachsen waren, verkohlen und fand, dafs sich der Gehalt an Kohle während des Aufenthaltes unter dem Behälter eher vermindert als vermehrt hatte.

Die vorstehenden Beobachtungen beweisen, dafs die Pflanzen in geschlossenen Gefäfsen kohlensaures Gas zersetzen, wenn es mit der atmosphärischen Luft in einem höheren Verhältnis gemischt ist, als es im natürlichen Zustande in ihr vorkommt.

Es ist jetzt der geeignete Augenblick nachzuforschen, ob sie diese Zersetzung auch in freier Luft bewirken, die kaum mehr als $^{1}/_{100}$ ihres Volumens[2]) an kohlensaurem Gas enthält. Man hat neuerdings die Ansicht zu begründen versucht, die Pflanzen, welche in reinem Wasser und freier Luft wüchsen, vergröfserten ihr Volumen allein mit Hülfe des Wassers, und enthielten nach ihrer Entwicklung eine geringere Menge Kohlenstoff, als in ihren Samen vorhanden war. Ich stellte mehrere Versuche an, welche nur Ergebnisse geliefert haben, die dieser Ansicht gerade entgegengesetzt sind, und werde zwei Beispiele davon anführen.

1. Versuch. Ich liefs die Wurzeln mehrerer Pfefferminzen (Mentha piperita) in mit destilliertem Wasser gefüllte Flaschen tauchen und diese Pflanzen in der Sonne, vor Regen geschützt,

---

1) Auch aus späteren Versuchen hat sich ergeben, dafs das Gesamtvolumen einer Atmosphäre, in welcher Pflanzen assimilieren, nahezu unverändert bleibt, da nach Boussingaults Untersuchungen ein dem zersetzten Kohlendioxyd annähernd gleiches Volumen Sauerstoff ausgeschieden wird, während sich der Gehalt an Stickstoff nicht verändert.

2) Die atmosphärische Luft enthält weit weniger Kohlendioxyd, als Saussure voraussetzt, nämlich 0,03 – 0,04 %.

nem aufserhalb eines Fensters befindlichen Blumenbrette
ren. Als ich einige dieser Pflanzen zu gleicher Zeit und an
ben Orte ausrifs und trocknete, überzeugte ich mich davon,
)0 Gewichtsteile von ihnen, welche ich in destilliertem Wasser
ren lassen wollte, 40,29 Teile Trockensubstanz enthielten,
nen nach der Verkohlung 10,56 Teile Kohle übrig blieben.
wichtsteile Pfefferminze wogen, nachdem sie zwei und einen
Monat in freier Luft vegetiert hatten, grün 216 Teile. Zu-
lehrt aber diese Gewichtszunahme nichts, da sie vielleicht
rmehrung des Vegetationswassers zuzuschreiben ist, das bei
lanzen stets zunimmt, wenn sie an einen feuchteren Ort
nzt werden. Durch das Trocknen bei Lufttemperatur gingen
62 Gewichtsteile zurück. Die Pflanzen vergröfserten also
lfe von Luft und Wasser ihre Trockensubstanz um 21,71 Teile.
Teile lieferten bei der Verkohlung 15,78 Teile Kohle oder
eile mehr, als sie geliefert haben würden, wenn sie nicht
illiertem Wasser vegetiert hätten.

Versuch. Ich brachte vier Bohnen, welche 6,368 g wogen,
n Kieselsteine in Glaskapseln und begofs sie mit destilliertem
. Am Ende einer unter freiem Himmel zugebrachten Vege-
zeit von drei Monaten wogen die Bohnenpflanzen unmittelbar
r Blüte grün 87,149 g. Durch das Trocknen sank das Gewicht
721 g herab, während ihres Vegetierens in freier Luft ver-
en die Bohnen also fast die Menge ihrer Trockensubstanz [1]).
r Verkohlung im geschlossenen Gefäfs lieferten diese Pflanzen
g Kohle; nun gaben aber vier Bohnen von dem nämlichen
t wie diejenigen, welche zu dem Versuche gedient hatten,
Kohle. Die Bohnen hatten also um mehr als das Doppelte
lenstoff zugenommen, während sie sich mit Hülfe von Wasser
r Luft entfalteten; es kann nicht daran gezweifelt werden,
e dies nur durch die Zersetzung des kohlensauren Gases,
sie in der Atmosphäre fanden, bewirkten; denn, wie wir
haben, vermehren die Pflanzen, welche in mit reiner
härischer Luft gefüllten Behältern vegetieren, ihren Kohlen-
cht.

[1]) Es ist hierbei noch zu berücksichtigen, dafs das Trockengewicht der
geringer als 6,368 g ist, da eine keimfähige Bohne ebenfalls Vegeta-
ser enthält, wenn auch relativ erheblich weniger als die daraus ent-
Pflanze.

41. Das Menschengeschlecht wird in fünf Rassen eingeteilt.

Blumenbach, Über anthropologische Sammlungen und die Einteilung des Menschengeschlechts. 1806 [1]).

Blumenbach wurde 1752 in Gotha geboren, war 1776—1835 Professor der Medizin in Göttingen und starb im Jahre 1840. Blumenbach hat sich durch anthropologische Arbeiten, die ihn zur Aufstellung seiner fünf Menschenrassen führten, besondere Verdienste erworben.

Es hält schwer zu begreifen, dafs bei dem Eifer, mit dem die Naturgeschichte bearbeitet ist, die Naturforscher so spät erst inne geworden sind, dafs auch der Mensch ein Naturgeschöpf sei und folglich ebensowohl wie irgend ein anderes nach der Verschiedenheit seiner Rassen, seinen körperlichen Eigenheiten u. s. w. behandelt zu werden verdiene. Die grofsen Naturhistoriker der letzten Jahrhunderte [2]) haben in ihren zahlreichen klassischen Werken die Geschichte aller drei Naturreiche bearbeitet, einzig und allein die Naturgeschichte des Menschen selbst ausgenommen. Kein Naturforscher von Beruf, sondern ein Mathematiker war der erste, der endlich zu Anfang des vorigen Jahrhunderts in einer für jene Zeit epochemachenden Schrift [3]) diese so lange offen gebliebene Lücke auszufüllen versucht hat. Dennoch haben noch viele Jahrzehnte die Naturaliensammler, um ihre Schränke zu füllen, immer auf alles andere eher Jagd gemacht als auf das, was zu Belegen für die Naturgeschichte des Menschengeschlechts dienen kann. Dafs die Anschaffung eines belehrenden Apparates für dieses Fach mit ungleich gröfseren Schwierigkeiten verknüpft ist, liegt freilich zu Tage. Dafs aber bei beharrlichem Eifer des Sammlers und der Mitwirkung von Männern, die Gelegenheit haben, ihm für seinen Zweck behülflich zu sein, diese Schwierigkeiten nicht unüberwindlich sind, dafür giebt der ansehnlichste Teil meiner anthropologischen Sammlung, der die Schädel fremder Völkerschaften umfafst,

---

1) Beiträge zur Naturgeschichte von J. F. Blumenbach, erster Teil, XI und XII. Göttingen 1806.

2) Gemeint sind Gessner (1516—1565), der deutsche Plinius genannt, Aldrovandi (1522—1605) und Ray (1628—1705).

3) Wallerius, De varia hominum forma externa 1705.

einen hervorragenden Beweis. Mir hat diese Sammlung unter anderem schon genützt:

1. Zur Bestimmung eines körperlichen Hauptcharakters der Humanität, den ich in dem vortretenden Kinn und der dadurch bewirkten aufrechten Stellung der unteren Vorderzähne gefunden zu haben glaube. Den Tieren kann kaum ein eigentliches Kinn im Vergleich mit dem menschlichen zugeschrieben werden, und bei Menschen, die, wie man zu sagen pflegt, etwas Äffisches in ihrer Gesichtsbildung haben, liegt dies an einem starken Zurücktreten des Kinns. Die oberen Vorderzähne haben bei manchen Völkerschaften eine mehr oder weniger schräge Richtung, während die unteren bei allen mir bekannten senkrecht stehen.

2. Zu einem Hauptbeweise für die Einheit des Menschengeschlechts im ganzen.

3. Zum Erweise der natürlichen Einteilung des ganzen Geschlechts in fünf Hauptrassen.

4. Zum näheren Aufschlufs über die wahrscheinliche Abstammung rätselhafter Völkerschaften, wie z. B. der alten Guanchen auf den glückseligen Inseln[1]).

5. Auch dient diese Sammlung zur Erklärung mancher physiologischen Eigentümlichkeit, wie z. B. der sehr weiten, geräumigen Windungen in der Nasenhöhle der so scharf riechenden Neger und der nordamerikanischen Indianer.

6. Zum Beweise der bleibenden Verunstaltung, die manche Völker, wie namentlich die Karaïben, den Köpfen ihrer Kinder durch anhaltendes Pressen und Binden ankünsteln.

Nach allem, was ich durch anschauliche Kenntnis und aus Nachrichten glaubwürdiger Zeugen kennen gelernt, giebt es im Menschengeschlecht keine körperliche Verschiedenheit, wie man sie nicht auch bei anderen Gattungen, zumal unter den Haustieren, und zwar als eine unverkennbare Folge der Ausartung bemerkt. Folglich sehe ich auch nicht den mindesten Grund, warum ich, die Sache naturhistorisch betrachtet, nur irgend bezweifeln dürfte, dafs alle Völker aller bekannten Himmelsstriche zu einer und derselben Art gehören.

1) Die kanarischen Inseln; Guanchen hiefsen die jetzt ausgestorbenen Ureinwohner derselben. Sie waren mit den heute noch Nordafrika bewohnenden Berbern eines Stammes.

So gut man aber Rassen der Pferde und Hühner, Nelken und Tulpen aufstellt, ebenso füglich doch wohl auch die Spielarten, die im Menschengeschlecht aus seinem gemeinschaftlichen Stamme entstanden sind. Nur dafs, da alle auf den ersten Blick noch so auffallenden Verschiedenheiten bei näherer Betrachtung durch unmerkliche Übergänge in einander überfliefsen, keine anderen als sehr willkürliche Grenzen zwischen diesen Spielarten gezogen werden können. Zumal, wenn man dabei nicht blofs auf eine, sondern vom Standpunkte eines natürlichen Systems auf alle körperlichen Kennzeichen zugleich Rücksicht nimmt.

Soweit ich mir inzwischen die Völker der Erde bekannt zu machen gesucht habe, lassen sie sich meines Erachtens am natürlichsten unter folgende fünf Hauptrassen bringen:

1. Die Kaukasische Rasse:

Die Europäer mit Ausschlufs der Lappen und Finnen, die westlichen Asiaten und die Nordafrikaner. Mit einem Worte, ungefähr die Bewohner der den alten Griechen und Römern bekannten Welt. Sie sind von Farbe mehr oder weniger weifs mit roten Wangen und, nach europäischen Begriffen, an Schönheit der Gesichts- und Schädelform die wohlgebildetsten Menschen.

2. Die Mongolische Rasse:

Die übrigen Asiaten mit Ausnahme der Malayen nebst den Lappen in Europa und den Eskimos im nördlichsten Amerika. Sie sind meist weizengelb mit spärlichem, straffen, schwarzen Haar, haben platte Gesichter mit hervortretenden Backenknochen und enggeschlitzte Augen.

3. Die Äthiopische Rasse:

Die übrigen Afrikaner; mehr oder weniger schwarz, mit meist krausem Haar, vorstehenden Lippen, wulstigen Kiefern und stumpfer Nase.

4. Die Amerikanische Rasse:

Die übrigen Amerikaner; meist lohbraun oder wie angelaufenes Kupfer, mit straffem, schlichten Haar und breitem, aber dabei nicht platten Gesicht, sondern stark ausgeprägten Zügen.

5. Die Malayische Rasse:

Die Südseeinsulaner oder die Bewohner des fünften Weltteils einschliefslich der eigentlichen Malayen. Sie sind meist von brauner Farbe (vom hellen Mahagoni bis ins dunkelste Kastanienbraun), mit dichtem, schwarzlockigen Haarwuchs, breiter Nase und grofsem Mund.

Jede dieser fünf Hauptrassen begreift übrigens wieder ein und das andere Volk in sich, welches sich durch seine Körperbildung mehr oder weniger vor den übrigen derselben Abteilung auszeichnet. So könnten z. B. die Hindus von der Kaukasischen, die Chinesen und Japaner von der Mongolischen, die Hottentotten von der Äthiopischen Rasse, sowie die Nordamerikaner von den Bewohnern Südamerikas und die schwarzen Papuas von den braunen Insulanern des stillen Ozeans als eigene Unterarten abgesondert werden.

42. Cuvier begründet durch Verschmelzung der Zoologie mit der vergleichenden Anatomie ein natürliches System. 1812.

Über eine neue Anordnung der Klassen, welche das Tierreich zusammensetzen. Von M. G. Cuvier[1]).

Georges Cuvier wurde am 24. August 1769 in der damals württembergischen Stadt Mömpelgard geboren und auf der Karlsschule vorgebildet. 1788—1794 bekleidete er eine Hauslehrerstelle in der Normandie. Die Nähe des Meeres regte ihn zu vergleichenden anatomischen Untersuchungen an. 1802 wurde Cuvier Professor der vergleichenden Anatomie und später Pair von Frankreich. Er starb am 13. Mai des Jahres 1832. Zur Erklärung der geologischen Zeitalter mit dem wechselnden Charakter ihrer Tier- und Pflanzenwelt nahm Cuvier eine Folge grofser Umwälzungen an, denen jedesmal eine Neuschöpfung gefolgt sei. Siehe Abschnitt 49.

Es ist bekannt, dafs Linné unter dem Namen „Würmer“ aufserordentlich zahlreiche und verschiedengestaltige Tiere beisammen liefs, für welche es unmöglich war, irgend ein gemeinsames Kennzeichen anzugeben. Während ich an meinen ersten Abhandlungen zur vergleichenden Anatomie arbeitete, befand ich mich der Unmöglichkeit gegenüber, irgend etwas allgemein Zutreffendes zu

1) Die in dieser berühmten Abhandlung Cuviers aufgestellte Einteilung der Tiere nach ihrer gesamten Organisation bezeichnet den bedeutendsten Fortschritt der Zoologie seit den Zeiten des Aristoteles. Der Titel lautet: „Sur un nouveau rapprochement à établir entre les classes, qui composent le règne animal“. Annales du Muséum d'histoire naturelle. Tome XIX. 1812. pag. 73 ff. Mit geringen Kürzungen übersetzt von F. Dannemann.

sagen, sei es über das Nervensystem der „Würmer“, sei es über ihren Blutkreislauf, ihre Atmungs-, Fortpflanzungs- oder selbst über ihre Verdauungsorgane. Dadurch wurde mir denn klar, dafs diese Klasse nicht gleich den übrigen auf positive Merkmale gegründet sei.

Ich machte deshalb in einer Mitteilung[1]) den Vorschlag, die „Würmer“ in vier Klassen zu teilen, welche auf ebenso deutliche Verschiedenheiten gegründet waren wie diejenigen, welche die Klassen der Wirbeltiere von einander trennen. Da ferner die Krebstiere, welche Linné zu den Insekten gerechnet hatte, von den letzteren, wie mir schien, stark abwichen, schlug ich vor, sie von diesen zu trennen. Diese Änderungen wurden nach und nach allgemein angenommen. Lamarck[2]) hat darauf meinen Klassen noch zwei andere hinzugefügt, nämlich diejenigen der Spinnentiere und der Radiärtiere; und dies scheint mir die Einteilung zu sein, der man heute in fast ganz Europa folgt. Bei dieser Anordnung werden die vier ersten Klassen unter dem Namen der Wirbeltiere, den ihnen Lamarck mit vollem Recht beigelegt hat, den nachfolgenden als Wirbellose bezeichneten Klassen gegenübergestellt.

Nun gelangt man, was die Wirbeltiere anbetrifft, leicht zu einer grofsen Anzahl von Zügen, die allen vier Klassen derselben gemeinsam und folglich von einer höheren Ordnung sind als diejenigen, welche jeder Klasse im besonderen zukommen. Mit anderen Worten, diese vier Klassen sind gewissermafsen nach demselben Plane gebaut.

Für die wirbellosen Tiere gilt nun nicht dasselbe. Welches von ihren Organsystemen man auch beschreiben will, man ist gezwungen, fast ebensoviele Schemata zu entwerfen, als es Klassen giebt. Ich habe mich dieser Unzuträglichkeit während des ganzen Verlaufs meiner Vorträge über vergleichende Anatomie gegenüber befunden. Jedesmal, wenn ich die Gesetze, welche die Organisation der Wirbeltiere beherrschen, in grofsen Zügen gezeichnet hatte, verfiel ich in Einzelheiten, sobald ich von den wirbellosen Tieren sprechen wollte, die man immer den vorigen gegenüberstellt und sozusagen als die andere Hälfte des Tierreichs betrachtet.

---

1) Im Mai des Jahres 1795.

2) Jean Lamarck, 1744 in der Picardie geboren, verdienter Botaniker und Zoologe; von ihm rührt die Einteilung des Tierreichs in Wirbeltiere und Wirbellose her, auch stellte er Betrachtungen über die Entstehung der Arten an, für welche er, im Gegensatz zu dem damals herrschenden Dogma von der Konstanz der Arten, eine allmähliche Umbildung annahm. Lamarck starb 1829.

Endlich habe ich die Ursache dieses Übelstandes und zugleich die Abhülfe dafür gefunden. Es lag daran, dafs ich, allzusehr am älteren Gebrauche hängend, Gruppen von sehr verschiedener Ordnung als Klassen bezeichnet hatte, so dafs meine Klasse der Weichtiere zum Beispiel, was die Wichtigkeit ihrer Hauptmerkmale und die Verschiedenheit der zu ihr gehörigen Lebewesen anbelangt, der gesamten Reihe der Wirbeltiere fast gleichwertig war. Ich hätte daher entweder sämtliche Wirbeltiere in eine einzige Klasse zusammenstellen oder die Weichtiere gleichfalls in mehrere Klassen einteilen müssen. Indem ich das Tierreich unter diesem neuen Gesichtspunkte betrachtete und Rücksicht auf die Tiere selbst nahm und nicht auf ihre Gröfse, ihren Nutzen und andere Nebenumstände, fand ich, dafs es vier Grundformen, vier Hauptpläne giebt, nach denen sämtliche Tiere gebaut zu sein scheinen. Die Unterabteilungen, welche Namen ihnen die Naturforscher auch beigelegt haben mögen, würden danach nur auf geringe Abänderungen, bedingt durch die Entwicklung oder das Hinzutreten gewisser Teile, hinauslaufen, aber gar nichts an den Grundzügen des Planes ändern.

Indem ich nun über die wichtigsten Organe nachdachte, welche diese Ähnlichkeit innerhalb einer vielgestaltigen Tiergruppe bestimmt haben, fand ich sogleich eine befriedigende Erklärung für diese Ähnlichkeit. Das Nervensystem bleibt nämlich dasselbe innerhalb jeder dieser vier Grundformen. Nun ist das Nervensystem im Grunde das ganze Tier; die anderen Organsysteme haben nur die Aufgabe, sich in seinen Dienst zu stellen und es zu unterhalten. Es ist daher nicht zu verwundern, dafs sie sich in Bezug auf das Nervensystem anordnen.

Der erste dieser vier Hauptzweige oder Kreise ist jedem unter dem Namen der Wirbeltiere bekannt. Sie allein besitzen ein Rückenmark, von dessen Seiten die Nerven auslaufen und dessen vorderes Ende sich zum Gehirn entwickelt. Ein Kanal aus knöchernen oder knorpeligen Wirbeln umschliefst diesen Hauptstamm des Nervensystems; selbst das Neunauge, dessen Wirbelsäule so weich ist, zeigt an derselben deutliche Ringe. Das Gehirn wird immer von einem Schädel eingeschlossen. Es sind fünf Sinnesorgane vorhanden, sowie zwei Kiefer in horizontaler Lage. Die Wirbeltiere haben ferner rotes Blut, ein muskulöses Herz, Leber Milz und Nieren. Je mehr man ihren Bau untersucht, um so mehr Ähnlichkeiten entdeckt man. Jedermann weifs, dafs dieser Kreis in vier Klassen zerfällt, und zwar nach der Beschaffenheit

der Kreislauf- und Atmungsorgane, mit welchen die Energie und die Art der Bewegung zusammenhängt.

Mein zweiter Kreis umfafst die Weichtiere. Sie besitzen ein Gehirn, aber kein Rückenmark; ersteres sendet nur Nervenstränge aus, die sich zu zerstreuten Nervenknoten vereinigen. Dementsprechend besitzen sie weder eine Wirbelsäule, noch sonstige Skelettbildungen. Ihre Muskeln heften sich an verschiedenen Stellen ihrer Haut an, und ihre sämtlichen Bewegungen beruhen auf Kontraktionen, die in verschiedenem Sinne erfolgen, etwa wie diejenigen unserer Zunge. Ihre Hartteile, wenn sie deren besitzen, entstehen an der Oberfläche ihrer Haut. Sie haben keine erkennbaren Geruchsorgane; Augen fehlen ihnen oft. Endlich besitzen sie ein Gefäfssystem, besondere Atmungsorgane und eine Leber.

Die Klassen dieses Kreises, die ich früher als ebensoviele Ordnungen aufgestellt hatte, sind unter den Namen der Cephalopoden[1], der Gastropoden[2], der Pteropoden[3] und der Acephalen[4] bekannt.

Der dritte Kreis, der sich vom zweiten ebenso deutlich unterscheidet wie der zweite vom ersten, möge den Namen „Gliedertiere“ erhalten. Ihr Körper ist in der That äufserlich ebenso gegliedert wie ihr gesamtes Nervensystem im Innern. Ein kleines über dem Schlunde befindliches Gehirn sendet zwei Nervenstränge aus, welche an der Bauchseite entlang laufen und von Strecke zu Strecke durch Knoten verbunden werden, die als ebensoviele kleine Gehirne erscheinen und sämtliche Nerven aussenden.

Die Muskeln sind im Innern der Körperringe angebracht und zwar dergestalt, dafs sie dieselben von einander entfernen und einander wieder nähern. Das Teilungsvermögen des Körpers und die Leichtigkeit, mit welcher die Bruchstücke lebensfähig bleiben, entspricht dieser Verteilung des Nervensystems auf soviel kleine Centren als Ringe vorhanden sind. Dieser Kreis weist bezüglich der übrigen Organe noch gröfsere Unterschiede auf, als diejenigen, welche sich bei den Wirbeltieren vorfanden und dort so scharf geschiedene Klassen ermöglichten. Er zerfällt in die

1) Kopffüfser oder Tintenfische.

2) Bauchfüfser oder Schnecken.

3) Flossenfüfser oder Ruderschnecken, eine kleine Gruppe im Meere lebender Weichtiere; meist von geringer Körpergröfse, aber in ungeheuren Scharen auftretend.

4) Hierhin gehören vorzugsweise die Muscheltiere.

Gliederwürmer, die Krebstiere, die Spinnentiere und die Insekten. In diesem Kreise läfst sich auch der Übergang von Tieren mit Kreislauf zu solchen ohne Kreislauf beobachten, sowie der entsprechende Übergang zwischen Tieren, welche mittelst scharf begrenzter Kiemen atmen, zu solchen, bei denen Tracheen die Luft den sämtlichen Teilen des Körpers zuführen.

Die vermehrte Atmung ruft in letzterem Falle dieselben Wirkungen hervor wie bei den Wirbeltieren, und die Insekten vertreten gewissermafsen die Vögel im Kreise der Gliedertiere.

In unserem vierten und letzten Kreise spricht sich die Gesetzmäfsigkeit in einem ganz neuen Bauplane aus, welcher an die häufigsten Formen des Pflanzenreichs erinnert. Aus diesem Grunde haben verschiedene Naturforscher einen Teil dieses Kreises als Pflanzentiere bezeichnet, und ich habe diesen Namen auf alle Tiere desselben ausgedehnt. Man könnte sie auch Radiärtiere nennen, da ihre Organe fast immer um einen Mittelpunkt angeordnet sind wie die Radien eines Kreises. Jedermann denkt bei diesem Worte an die Seesterne, Quallen, Seerosen, sowie an die unzähligen Polypen, welche teils nackt sind, teils Korallenbauten aufführen. Hierhin gehören aber auch Tiere, deren strahliger Bau zwar nicht so in die Augen fällt, aber dennoch vorhanden ist, wie die Holothurien (Seewalzen). Die mehr oder minder grofse Zusammengesetztheit im Bau der Radiärtiere ermöglicht ebenfalls, sie in Klassen einzuteilen, deren Unterschiede fast von derselben Bedeutung sind, wie diejenigen, die wir bei dem Kreise der Gliedertiere angetroffen haben. Die Infusorien gehören auch zu diesem Kreise[1]). Falls hierher gehörige Tiere ein deutliches Nervensystem besitzen, so ist es gleichfalls strahlig gebaut; in den meisten Fällen entdeckt man aber nichts, was an Nerven erinnert. Und man mufs annehmen, dafs die Nervensubstanz dieser Tiere, wenn sie überhaupt eine solche besitzen, in ihrer gesamten übrigen Körpermasse verteilt ist.

Überhaupt bemerkt man, dafs innerhalb dieses Kreises ein Verschwinden und eine allmähliche Verschmelzung sämtlicher Organe zu einer gleichartigen Masse eintritt. Die Stachelhäuter besitzen noch ein geschlossenes Gefäfssystem und deutliche Atmungswerkzeuge. Bei den Infusorien dagegen bildet der ganze Körper nur noch eine gleichartige Masse.

---

[1]) Die Infusorien werden heute mit den übrigen einzelligen Tieren zum Kreise der Protozoen oder Urtiere zusammengefafst.

Diese neue Einteilung des Tierreichs läſst sich also zum Schluſs in folgende Worte zusammenfassen: Sämtliche Wirbeltiere und sämtliche Gliedertiere bilden je eine Gruppe. Diesen beiden Gruppen entsprechen als gleichwertig diejenigen der Weichtiere und der Radiärtiere.

Man sollte nicht glauben, in welchem Grade diese scheinbar so geringfügige Änderung dem Lehrgebäude der vergleichenden Anatomie Übersichtlichkeit und Klarheit verleiht. Ich habe diese Erfahrung seit mehreren Jahren gemacht und bin so dazu geführt worden, diese Einteilung dem Werke zu Grunde zu legen, welches ich demnächst über das Tierreich[1]) zu veröffentlichen gedenke und das als Einleitung in mein groſses Lehrbuch der vergleichenden Anatomie dienen soll.

Folgendes ist also die Übersicht:

I. Kreis. Wirbeltiere.

1. Klasse Säugetiere.
2. „ Vögel.
3. „ Reptilien[2]).
4. „ Fische.

II. Kreis. Weichtiere.

1. Klasse Kopffüſser oder Cephalopoden.
2. „ Bauchfüſser oder Gasteropoden.
3. „ Flossenfüſser oder Pteropoden.
4. „ Kopflose oder Acephalen.

III. Kreis. Gliedertiere.

1. Klasse Ringelwürmer oder Anneliden.
2. „ Krebstiere oder Crustaceen.
3. „ Spinnen oder Arachniden.
4. „ Kerbtiere oder Insekten.

IV. Kreis. Radiärtiere.

1. Klasse Stachelhäuter oder Echinodermen.
2. „ Eingeweidewürmer.
3. „ Pflanzentiere oder Polypen.
4. „ Aufguſstiere oder Infusorien[3]).

---

1) Cuvier, Règne animal, 1817. Übersetzt von Voigt 1831.

2) Diese Klasse zerfällt heute in die beiden Klassen der Reptilien und Amphibien.

3) Cuviers Einteilung bildet noch heute die Grundlage des natürlichen Systems, doch ist die Zahl der Kreise auf 7 vermehrt worden. Zuerst wurde

43. Die Aufstellung der atomistischen Hypothese. 1808.

Dalton, Ein neues System der chemischen Wissenschaft, I. Teil, 1. und 2. Kapitel[1]).

John Dalton, 1766 als Sohn eines armen englischen Webers geboren, wurde 1793 Lehrer der Mathematik und Physik in Manchester, wo er 1844 starb. Die Untersuchung der Oxyde des Stickstoffs führte ihn zur Entdeckung des Gesetzes von den multiplen Proportionen; die Erklärung dieses Gesetzes, sowie desjenigen von der Konstanz der Gewichtsverhältnisse gelang Dalton durch Aufstellung seiner atomistischen Hypothese, welche seitdem eine der Grundlagen der gesamten Naturwissenschaft bildet.

Es giebt drei Unterschiede in der Art der Körper oder drei Zustände, welche in hohem Grade die Aufmerksamkeit der Naturforscher beansprucht haben, nämlich diejenigen, welche mit den Namen des elastisch-flüssigen, des flüssigen und des festen Zustandes bezeichnet werden. Ein sehr bekanntes Beispiel bietet uns das Wasser als ein Stoff, welcher unter bestimmten Umständen alle drei Zustände annehmen kann. Im Dampfe erkennen wir einen vollkommen elastischflüssigen, im Wasser einen vollkommen flüssigen und im Eis einen vollkommen festen Stoff. Diese Beobachtungen haben stillschweigend zu dem allgemein angenommenen Schlufs geführt, dafs alle Körper aus einer ungeheuren Anzahl äufserst kleiner Teilchen bestehen, welche mit einander durch eine je nach den Umständen stärkere oder schwächere Anziehungskraft verbunden sind.

Ob die letzten Teilchen eines Stoffes wie das Wasser alle gleich sind, d. h. von derselben Gestalt, demselben Gewicht u. s. w., ist eine

durch Abtrennung der Infusorien von den Radiärtieren der Kreis der Urtiere oder Protozoen gebildet, sodann wurden die Stachelhäuter, welche einen Darm besitzen, als besonderer Kreis den darmlosen Radiärtieren (Korallen, Seerosen etc.) gegenübergestellt, endlich wurden die Ringelwürmer mit den Eingeweidewürmern und anderen niederen Formen zum Kreise der Würmer vereinigt. Aufserdem gestattet uns die Entdeckung zahlreicher Verbindungsglieder zwischen den einzelnen Kreisen, das gesamte Tierreich als eine Einheit im höchsten Sinne zu betrachten.

[1]) Nach Ostwalds „Klassiker der exakten Wissenschaften“, Nr. 3. Leipzig, Verlag von Wilhelm Engelmann, 1889. Der Originaltitel des dreibändigen Werkes lautet: A new system of chemical philosophy by John Dalton 1808—1827. Eine deutsche Übersetzung der ersten beiden Bände wurde 1812 von Fr. Wolf herausgegeben.

Frage von einiger Wichtigkeit. Aus dem, was wir wissen, haben wir keinen Grund, eine Verschiedenheit dieser Teile zu vermuten: bestände eine solche im Wasser, so müfste sie gleicherweise in den Elementen, welche das Wasser bilden, nämlich im Wasserstoff und Sauerstoff, bestehen. Wären einige Wasserteilchen leichter als andere, und würde ein Teil der Flüssigkeit bei irgend einer Gelegenheit von solchen leichteren Teilchen gebildet, so müfsten sie das spezifische Gewicht des Wassers beeinflussen, ein Umstand, der nicht bekannt ist. Ähnliche Bemerkungen können über jeden anderen Stoff gemacht werden; wir können daher schliefsen, dafs die letzten Teilchen aller homogenen Stoffe völlig gleich in Gewicht, Gestalt u. s. w. sind. Mit anderen Worten, jedes Teilchen Wasser ist gleich jedem anderen, jedes Atom Wasserstoff ist gleich jedem anderen Atom Wasserstoff u. s. w.

Wenn ein Stoff sich im elastisch-flüssigen Zustande befindet, so sind seine Teilchen von einander auf eine weit gröfsere Entfernung getrennt als in irgend einem anderen Zustande; jedes Teilchen nimmt den Mittelpunkt einer verhältnismäfsig grofsen Kugel ein und behauptet seine Stellung, indem es alles andere, was es zu beeinflussen sucht, in respektvoller Entfernung hält. Versuchen wir die Zahl der Atome in der Atmosphäre zu begreifen, so wäre das eine Aufgabe, wie diejenige, die Zahl der Sterne im Weltall zu zählen; der Gedanke verwirrt uns. Aber wenn wir den Gegenstand begrenzen und ein gegebenes Volumen irgend eines Gases nehmen, so halten wir uns überzeugt, dafs die Zahl der Teilchen endlich sein mufs, ebenso wie in einem gegebenen Teile des Weltalls die Zahl der Sterne und Planeten nicht unbegrenzt sein kann.

Die chemische Synthese und Analyse geht nicht weiter als bis zur Trennung der Atome und ihrer Wiedervereinigung. Keine Neuerschaffung oder Zerstörung des Stoffes liegt im Bereiche chemischer Wirkung. Wir können ebensowohl versuchen, einen neuen Planeten dem Sonnensystem einzuverleiben oder einen vorhandenen zu vernichten, als ein Atom Wasserstoff zu erschaffen oder zu zerstören. Alle Änderungen, welche wir hervorbringen können, bestehen in der Trennung von Atomen, welche vorher verbunden und in der Vereinigung solcher, welche vorher getrennt waren.

Bei allen chemischen Untersuchungen hat man es mit Recht für eine wichtige Aufgabe gehalten, das relative Gewicht der einfachen Stoffe zu bestimmen, welche einen zusammengesetzten bilden. Leider hat die Untersuchung hier aufgehört, während doch aus

m relativen Gewicht der Massen das relative Gewicht der letzten ilchen oder Atome der Stoffe hätte abgeleitet werden können, raus sich ihre Anzahl und ihr Gewicht in vielen anderen Verndungen ergeben hätten. Nun ist es einer der grofsen Gegeninde dieses Werkes zu zeigen, wie wichtig und vorteilhaft es , die relativen Gewichte der letzten Teilchen sowohl der einhen wie der zusammengesetzten Stoffe zu ermitteln, sowie die hl der Atome, welche ein zusammengesetztes Teilchen bilden, zu stimmen.

Seien A und B zwei Stoffe, welche sich zu verbinden vermögen, findet folgende Ordnung statt, nach welcher die Verbindung ttfinden kann:

Atom von A + 1 Atom von B = 1 Teilchen von C, binär.
Atom von A + 2 Atome von B = 1 Teilchen von D, ternär.
Atome von A + 1 Atom von B = 1 Teilchen von E, ternär.
Atom von A + 3 Atome von B = 1 Teilchen von F, quaternär [1]).
Atome von A + 1 Atom von B = 1 Teilchen von G, quaternär.
d so weiter.

Die folgenden allgemeinen Regeln mögen als Führer bei allen seren Untersuchungen über die chemische Zusammensetzung annommen werden:

1. Wenn nur eine Verbindung zweier Stoffe erhalten werden nn, so mufs vermutet werden, dafs sie eine binäre ist, wenn ht ein Grund für das Gegenteil spricht.

2. Werden zwei Verbindungen beobachtet, so können wir errten, dafs die eine binär, die andere ternär ist.

3. Werden drei Verbindungen erhalten, so ist die eine als när, die beiden als ternär anzusehen u. s. w.

Aus der Anwendung dieser Regeln auf die bereits festgestellten emischen Thatsachen ziehen wir folgende Schlüsse: 1. Dafs das asser eine binäre Verbindung von Wasserstoff und Sauerstoff ist, d dafs das Gewichtsverhältnis der beiden Atome annähernd 7 ist. 2. Dafs Kohlenoxyd eine binäre Verbindung, bestehend s einem Atom Sauerstoff und einem Atom Kohlenstoff ist. Dafs Kohlensäure eine ternäre Verbindung aus einem Atom

[1]) Die Ausdrücke binär, ternär, quaternär werden in der heutigen Chemie Verbindungen aus je zwei, je drei oder je vier Elementen gebraucht, ohne cksicht auf die Anzahl der Atome, welche eine solche Verbindung zunmensetzen.

Kohlenstoff und zwei Atomen Sauerstoff ist u. s. w.[1]). Wegen der Neuheit sowohl als der Wichtigkeit der in diesem Kapitel vorgetragenen Gedanken schien es förderlich, Tafeln aufzustellen, welche die Art der Verbindung in mehreren der einfacheren Fälle angeben. Eine Probe ist diesem ersten Teile beigefügt. Die Atome der Elemente, d. h. solcher Stoffe, welche wir gegenwärtig als einfach ansehen, sind durch kleine Kreise mit einem Unterscheidungsmerkmal bezeichnet, und die Verbindungen durch die Nebeneinanderstellung zweier oder mehrerer derselben. Es ist nicht so zu verstehen, als ob alle Dinge, welche als einfache Stoffe bezeichnet sind, es notwendigerweise sein müssen; sie müssen nur notwendig die angegebenen Gewichte haben. Für Natron und Kali ergeben sich aus ihren Verbindungen mit Säuren die Zahlen 28 und 42; nach Davy's sehr wichtigen Entdeckungen sind sie aber Metalloxyde[2]). Natron mufs daher als bestehend aus einem Atom Metall (21) und einem Atom Sauerstoff (7) angesehen werden, Kali gleichfalls aus einem Atom Metall (35) und einem Atom Sauerstoff (7). Oder Natron enthält 75 % Metall und 25 % Sauerstoff, Kali enthält 83,3 % Metall und 16,7 % Sauerstoff[3]).

---

1) Wasserstoff und Sauerstoff setzen das Wasser im Verhältnis 1 : 8, nicht 1 : 7 zusammen; nach heutiger Auffassung besteht das Wasser aus zwei Atomen Wasserstoff und einem Atom Sauerstoff. Die atomistische Zusammensetzung von Kohlenoxyd und Kohlensäure (CO und CO_2) hat Dalton richtig angegeben. Für die Bestimmung der relativen Atomgewichte sind die Ergebnisse der Gewichtsanalyse, auf welche Dalton obige Regeln gründet, nicht mehr allein mafsgebend.

2) Siehe Abschnitt 47 d. Bds.

3) Dalton bezeichnete z. B. Wasserstoff mit ⊙, Sauerstoff mit ○, Schwefel mit ⊕; Schwefelsäureanhydrid bekam das Zeichen ○ über ⊕ über ○○, da jedes seiner Teilchen aus einem Atom Schwefel und drei Atomen Sauerstoff zusammengesetzt ist. Die heutige Bezeichnungsweise, Wasserstoff = H, Sauerstoff = O, Schwefel = S, Schwefelsäureanhydrid = SO_3 rührt von Berzelius her.

Die von Dalton ermittelten Atomgewichte waren noch sehr ungenau, sodafs sämtliche im letzten Abschnitt enthaltenen Werte von der Wahrheit stark abweichen.

Atomgewicht von	nach Dalton	richtiger Wert
Sauerstoff	7	8 (16)
Natrium	21	23
Kalium	35	39
Silber	100	108

44. Berzelius bestimmt die Gewichtsverhältnisse, nach denen chemische Verbindungen vor sich gehen und bestätigt Daltons Gesetz von den multiplen Proportionen.

Berzelius, Versuch die bestimmten und einfachen Verhältnisse anfzufinden, nach welchen die Bestandteile der unorganischen Natur miteinander verbunden sind. 1811 [1]).

Berzelius wurde am 29. August 1779 in Schweden als Sohn eines Lehrers geboren, studierte in Upsala Medizin und wurde 1807 Professor der Medizin und Pharmacie in Stockholm, wo er am 7. August 1848 starb. Berzelius erblickte in der genauen Feststellung der Atomgewichte seine Lebensaufgabe, bei deren Lösung er die Chemie mit einer Fülle neuer Methoden und Entdeckungen bereicherte. Auch um die Mineralogie hat Berzelius sich grofse Verdienste erworben; er ordnete die Mineralien nach ihrer Zusammensetzung und schuf durch Einführung der Zeichen unsere heutige chemische Zeichensprache.

Das Blei bildet, wie bekannt, drei Oxyde. Um den Sauerstoffgehalt derselben zu bestimmen, reduzierte ich Blei aus krystallisiertem salpetersauren Blei, wobei ich es frei von Silber und Kupfer erhielt.

A) Gelbes Bleioxyd (Bleiglätte).

1. 10 g Blei wurden in reiner Salpetersäure und zwar, um das Umherspritzen zu verhindern, in einem geneigten gläsernen Kolben aufgelöst[2]). Die Lösung gofs ich in einen abgewogenen Platintiegel, dunstete sie behutsam ab und setzte sie der Glühhitze aus; sie gab 10,77 g Bleioxyd.

2. Der Versuch wurde mit der Abwechslung wiederholt, dafs das Abdunsten und Glühen in dem Kolben selbst geschah. Resultat 10,775 g Bleioxyd[3]).

---

[1]) Ostwalds Klassiker der exakten Wissenschaften Nr. 35. Herausgegeben von W. Ostwald. Leipzig, Verlag von Wilhelm Engelmann 1892.

[2]) Es bildet sich salpetersaures Blei, dessen Zusammensetzung durch die Formel $Pb(NO_3)_2$ wiedergegeben wird.

[3]) Das salpetersaure Blei zerfällt beim Erhitzen in Bleioxyd, Sauerstoff und Stickstofftetroxyd: $Pb(NO_3)_2 = PbO + N_2O_4 + O$.

3. Der Versuch wurde zum dritten Male und zwar in einem langhalsigen gläsernen Kolben angestellt. Als sich das Salz zu zerlegen begann, setzte sich an dem Halse etwas mehliges Sublimat ab. Nachdem der Kolben in seiner ganzen Länge geglüht hatte. betrug das Gewicht des oxydierten Bleies 10,78 g, also etwas mehr als bei den vorigen Versuchen; zugleich hatte sich bei diesem Versuche eine Erscheinung gezeigt, die zu erkennen gab, dafs ein geringer Teil des Bleioxyds durch die Säuredämpfe mit fortgerissen wird.

4. 10 g Blei wurden in Salpetersäure aufgelöst, daraus mit kohlensaurem Ammoniak niedergeschlagen und der Niederschlag auf ein gewogenes Filter gebracht und gut ausgelaugt. Er betrug 12,9025 g kohlensaures Blei[1]. Es wurden davon 12,77 g in einem gewogenen Platintiegel geglüht[2]; der Rückstand war 10,64 g gelbes Bleioxyd, was für die ganze Masse 10,75 g giebt. 100 Teile Blei hatten danach 7,5 Teile Sauerstoff aufgenommen. Ich schöpfte Verdacht, das kohlensaure Ammoniak möchte den Bleigehalt nicht völlig niedergeschlagen haben, daher leitete ich nun Schwefelwasserstoffgas durch das Filtrat; dasselbe trübte sich aber dadurch nicht im geringsten[3].

5. Der Versuch wurde mit 8 g Blei wiederholt und gab 10,32 g kohlensaures Blei und daraus 8,6 g gelbes Bleioxyd; es hatten also wiederum 100 Teile Blei 7,5 Teile Sauerstoff aufgenommen.

Gelbes Bleioxyd ist also nach dem 3. Versuch zusammengesetzt aus:

	in hundert Teilen	auf hundert Teile
Blei	92,764	100,0
Sauerstoff	7,236	7,8
	100,000	107,8

B) Rotes Bleioxyd (Mennige).

Die Mennige, wie sie im Handel vorkommt, habe ich durch schwefelsaures Blei, basisch salzsaures Blei, Kupferoxyd und Kieselerde verunreinigt gefunden. Dieses macht die Analyse der Mennige

[1]) Die Ausfällung des Bleis mittelst kohlensaurem Ammoniak geht nach folgender Gleichung vor sich: $Pb(NO_3)_2 + (NH_4)_2 CO_3 = PbCO_3 + 2NH_4NO_3$.

[2]) Dabei zerfällt kohlensaures Blei in Bleioxyd und Kohlendioxyd: $PbCO_3 = PbO + CO_2$.

[3]) Enthält eine Flüssigkeit Blei in Lösung, so bildet sich beim Einleiten von Schwefelwasserstoff eine schwarzbraune Trübung, die von Schwefelblei herrührt: $Pb(NO_3)_2 + H_2S = PbS + 2HNO_3$.

weniger zuverlässig. Sie enthält aufserdem auch sehr viel gelbes Bleioxyd, wodurch sie eine lebhaftere Farbe annimmt als ihr eigentlich zukommt.

Um das gelbe Oxyd wegzuschaffen, behandelte ich feingeriebene Mennige mit schwachem destillierten Essig bei einer Temperatur von 20°, so lange der Essig sich mit derselben noch sättigte. Dadurch wurde das gelbe Oxyd aufgelöst, ohne dafs die schwache Säure auf das rote Oxyd einwirkte, welches nur eine tiefere Röte annahm. Nach geschehenem Waschen und Trocknen bei starker Hitze wurden 10 g dieser Mennige in einem gewogenen Platintiegel geglüht[1]; sie verloren 0,29 g an Gewicht. Das rückständige gelbe Oxyd wurde in Essig aufgelöst; schwefelsaures Blei und Kieselerde, die ungelöst zurückblieben, wogen geglüht 0,135 g. Der essigsauren Auflösung wurde salpetersaures Silber zugesetzt, und es schlug sich 0,01 g Chlorsilber aus ihr nieder[2]. Dies ergiebt einen Gehalt von 0,03 g basisch salzsaurem Blei; zusammengerechnet also 0,165 g, die nicht rotes Bleioxyd waren. Es hatten also 9,835 g Mennige 0,29 g Sauerstoff gegeben und 9,545 g gelbes Oxyd oder 8,855 g Blei enthalten. Diese letzteren waren in der Mennige mit 0,98 g[3] Sauerstoff vereinigt gewesen.

Es nehmen also 100 Teile Blei, um Mennige zu werden, 11,07 Teile Sauerstoff auf.

C) Braunes Bleioxyd.

Die mit Salpetersäure behandelte Mennige giebt, wie bekannt, ein braunes Bleioxyd[4]. Indem die Salpetersäure das gelbe Oxyd auflöst, läfst sie nebst dem braunen Oxyd eine erhebliche Menge fremder Stoffe, besonders schwefelsaures Blei und Kieselerde, unaufgelöst zurück.

Fünf Gramm braunes Bleioxyd, welches durch Auswaschen von allem anhängenden salpetersauren Blei befreit und getrocknet

---

1) Die Mennige verwandelt sich beim Glühen unter Abgabe von Sauerstoff in Oxyd: $Pb_3O_4 = 3PbO + O$.

2) Der Chlorgehalt einer Flüssigkeit wird durch Ausfällen des Chlors mittelst salpetersaurem Silber bestimmt; es bildet sich unlösliches Chlorsilber: $PbCl_2 + 2AgNO_3 = 2AgCl + Pb(NO_3)_2$.

3) 9,835 g — 8,855 g = 0,98 g.

4) Das braune Oxyd oder Bleisuperoxyd ist nach der Formel PbO_2 zusammengesetzt; es bildet sich durch Behandeln der Mennige mit Salpetersäure: $Pb_3O_4 + 4HNO_3 = 2Pb(NO_3)_2 + PbO_2 + 2H_2O$. Die Mennige läfst sich als eine Verbindung von Bleioxyd und Bleisuperoxyd auffassen: $Pb_3O_4 = 2PbO . PbO_2$.

waren, wurden in einem gewogenen Platintiegel geglüht und verloren dadurch 0,325 g Sauerstoff. Die rückständigen 4,675 g gelbes Oxyd[1]), in Essig aufgelöst, hinterliefsen schwefelsaures Blei und Kieselerde, die geglüht 0,13 g wogen. Die übrigen 4,545 g[2]) gelbes Oxyd enthalten 0,33 g Sauerstoff oder bis auf 0,005 g das nämliche, was das braune Oxyd durch Glühen verloren hatte. Es nehmen also 100 Teile Blei, um sich in braunes Oxyd zu verwandeln, doppelt so viel Sauerstoff auf, als sich im gelben Bleioxyde befindet, und das braune Bleioxyd besteht aus:

	in hundert Teilen	auf hundert Teile
Blei	86,51	100,0
Sauerstoff	13,49	15,6
	100,00	115,6

Aus diesen Versuchen folgt, dafs das Blei in seinen drei verschiedenen Oxydationsgraden den Sauerstoff in Mengen aufnimmt, die zueinander in dem Verhältnisse von 7,8 : 11,07 : 15,6 stehen[3]).

45. Gay-Lussac entdeckt das Volumgesetz. 1808.

Einige Abschnitte aus Gay-Lussac's Abhandlung über die Verbindungen gasförmiger Körper[4]).

Gay-Lussac und Alexander von Humboldt fanden 1805, dafs sich ein Raumteil Sauerstoff mit zwei Raumteilen Wasserstoff zu Wasser vereinigen. Gay-Lussac dehnte die Untersuchung auf andere Verbin-

[1]) Das Superoxyd zerfällt beim Glühen in gelbes Oxyd und Sauerstoff: $PbO_2 = PbO + O$.

[2]) 4,675 g — 0,13 g = 4,545 g.

[3]) Die Gewichtsmengen Sauerstoff, welche mit der gleichen Menge (100 g) Blei verbunden sind, fand Berzelius gleich 7,8 g (S. 256), 11,07 g (S. 257) und 15,6 g (S. 258). Die Zahlen 7,8 und 15,6 verhalten sich wie 1 : 2 und bringen somit das Gesetz von den multiplen Proportionen zum Ausdruck. Daher lauten die entsprechenden Formeln PbO und PbO_2. Mennige besitzt dagegen eine etwas schwankende Zusammensetzung. Die Formel Pb_3O_4, welche man ihr beilegt, würde auf 100 Teile Blei nur 10,3 Teile Sauerstoff ergeben.

[4]) Ostwalds Klassiker der exakten Wissenschaften, Nr. 42. Herausgegeben von W. Ostwald. Leipzig, Verlag von Wilhelm Engelmann 1893. Die Abhandlung erschien unter dem Titel „Mémoire sur la combinaison des substances gazeuses" in den Mémoires de physique et de chimie de la société d'Arcueil. Bd. II, 1809.

dungen aus und entdeckte das Gesetz, dafs die chemische Vereinigung von Gasen nach einfachen Volumverhältnissen erfolgt. Diese für die weitere Entwicklung der Chemie sehr wichtige Entdeckung wurde in der Abhandlung vom Jahre 1808 bekannt gegeben. Über Gay-Lussac siehe auch Abschnitt 46 d. Bds. sowie Bd. II d. Grdr. (1. Aufl.) S. 347 u. f.

Mehrere Eigenschaften, welche die Körper im festen, im flüssigen oder im gasförmigen Zustande besitzen, sind unabhängig von der Kraft der Kohäsion; andere Eigenschaften scheinen dagegen durch diese ihrer Gröfse nach sehr veränderliche Kraft beeinflufst zu werden und dann kein festes Gesetz zu befolgen. Die festen und flüssigen Körper würden durch einerlei Druck jeder eine verschiedene Raumverminderung erfahren, indes ein gleicher Druck den Raum aller elastischen Flüssigkeiten gleichmäfsig vermindert[1]). Ebenso dehnt zwar die Hitze alle Körper aus, aber bis jetzt hat man bei den flüssigen und bei den festen Körpern kein bestimmtes Gesetz für diese Ausdehnung gefunden; nur bei den elastisch-flüssigen Körpern ist sie für alle gleich und von der Natur des Körpers unabhängig. Die gegenseitige Anziehung der kleinsten Teilchen in den festen sowie in den flüssigen Körpern ist folglich die Ursache, welche die diesen Körpern eigentümlichen Eigenschaften beeinflufst. Und nur, wenn diese Anziehung, wie in den Gasarten, gänzlich aufgehoben ist, scheinen die Körper unter ähnlichen Umständen einfache und feste Gesetze zu befolgen.

Man wird in dieser Abhandlung eine neue Eigenschaft der Gasarten kennen lernen. Es ist nämlich meine Absicht hier zu beweisen, dafs die gasförmigen Körper sich untereinander nach sehr einfachen Verhältnissen verbinden, und dafs auch die Raumverminderung, welche bei diesen Verbindungen erfolgt, sich nach einem bestimmten Gesetze richtet. Die Äufserung einiger ausgezeichneten Chemiker, dafs wir von der Zeit vielleicht nicht mehr weit entfernt sind, wo die meisten chemischen Erscheinungen der Rechnung unterworfen werden können, wird dadurch, wie ich hoffe, noch mehr Gewicht erhalten.

Dafs 100 Mafs Sauerstoffgas genau 200 Mafs Wasserstoffgas verzehren, wenn beide sich verbinden und Wasser bilden, ist durch die Versuche dargethan, welche von Humboldt in Gemeinschaft mit mir hierüber angestellt hat. Ich wurde dadurch auf die Vermutung geführt, dafs die anderen Gasarten sich wohl nach ebenso

---

[1]) Mariottes Gesetz, siehe Abschnitt 20 dies. Bds.

einfachen Verhältnissen mit einander verbinden möchten, und dieses veranlaſste mich, die folgenden Versuche anzustellen.

Ich bereitete salzsaures Gas und verband es mit Ammoniakgas. Es sättigen 100 Maſs salzsaures Gas genau 100 Maſs Ammoniakgas, und das entstehende Salz ist vollkommen neutral[1]). Bringt man kohlensaures Gas mit Ammoniakgas in Berührung, so tritt eine Verbindung ein, und es verdichten sich mit 100 Maſs kohlensaurem Gas genau 200 Maſs Ammoniakgas.

Nach den Versuchen Berthollets sind im Ammoniak auf 100 Maſs Stickstoff genau 300 Maſs Wasserstoffgas enthalten.

Ich habe bei meinen Versuchen gefunden, daſs Schwefelsäureanhydrid auf 100 Maſs schwefligsaures Gas 50 Maſs Sauerstoffgas enthält[2]).

Verbindet man 50 Maſs Sauerstoffgas mit 100 Maſs gasförmigem Kohlenstoffoxyd, so verschwinden beide Gasarten völlig, und man findet statt derselben 100 Maſs kohlensaures Gas[3]).

Es scheint mir nach diesen Beweisen offenbar zu sein, daſs zwei Gasarten, welche auf einander chemisch einwirken, sich immer in den allereinfachsten Verhältnissen verbinden; in allen vorstehenden Fällen geschah dieses nach den Verhältnissen 1:1 oder 1:2 oder 1:3. Es ist sehr wichtig, zu bemerken, daſs sich kein einfaches Verhältnis zwischen den Elementen einer Verbindung zeigt, wenn man auf die Gewichte sieht. Nur wenn eine zweite Verbindung zwischen denselben Elementen vor sich geht, ist in der neuen Proportion das Vermehrte nach einem Vielfachen der vorherigen Menge desselben vorhanden[4]). Dagegen vereinigen sich die Gasarten immer in solchen Verhältnissen, daſs, wenn man die Elemente, welche eine Verbindung eingehen, dem Volumen nach betrachtet, das eine Element ein Vielfaches des anderen ist.

---

1) Es entsteht Salmiak nach der Gleichung: $NH_3 + HCl = NH_4Cl$.

2) Die Bildung von Schwefelsäureanhydrid aus schwefligsaurem Gas und Sauerstoff geht nach folgender Gleichung vor sich: $SO_2 + O = SO_3$.

3) $CO + O = CO_2$.

4) Daltons Gesetz von den multiplen Proportionen. Was z. B. die letzterwähnten Verbindungen anbelangt, so verhalten sich die Gewichtsmengen Kohlenstoff und Sauerstoff im Kohlenstoffoxyd (CO) wie 12 : 16, im kohlensauren Gas (CO_2) wie 12 : 32. Die Sauerstoffmengen, welche mit der gleichen Menge Kohlenstoff verbunden sind, verhalten sich demnach wie 1 : 2. Oder das Vermehrte, der Sauerstoff nämlich, wiegt jetzt doppelt so viel wie die im Kohlenstoffoxyd mit der gleichen Menge Kohlenstoff verbundene Menge desselben.

Die Gasarten verbinden sich ferner nicht blofs mit einander nach sehr einfachen Verhältnissen, sondern die Raumverminderung, die sie bei der Vereinigung erleiden, steht auch immer in einem sehr einfachen Verhältnisse zu dem Volumen, welches die Gase vor ihrer Verbindung einnahmen. Ich habe angeführt, dafs nach Berthollet[1]) 100 Mafs gasförmiges Kohlenstoffoxyd sich mit 50 Mafs Sauerstoff verbinden und 100 Mafs kohlensaures Gas geben. Beide Gasarten ziehen sich also bei ihrer Vereinigung um einen Raum zusammen, der gerade so grofs ist wie derjenige, den das hinzugefügte Sauerstoffgas einnahm.

Saussure hat gefunden, dafs das specifische Gewicht des Wasserdampfes sich zu dem specifischen Gewichte der atmosphärischen Luft wie 10 : 14 verhält. Gesetzt es sei, wenn 100 Mafs Sauerstoff sich mit 200 Mafs Wasserstoff zu Wasser verbinden, die ganze Raumverminderung dem Raume des Sauerstoffgases gleich[2]), so würde jenes Verhältnis 10 : 16 sein. Mit dieser bedeutenden Verschiedenheit, welche durch die Autorität eines so ausgezeichneten Physikers wie Saussure gestützt wird, scheint jene Voraussetzung nicht bestehen zu können; doch weifs man aus den Versuchen Watts, dafs aus einem Kubikzoll Wasser ungefähr ein Kubikfufs Wasserdampf wird, das Wasser also bei seiner Verwandlung in Dampf den 1728 fachen Raum einnimmt. Nach Saussure's Bestimmung der Dichtigkeit des Wasserdampfes zu derjenigen der Luft = 10 : 14 würde jener nur den 1488 fachen Raum des Wassers einnehmen, dagegen den 1700 fachen Raum, wenn dieses Verhältnis = 10 : 16 ist. Es ist daher sehr wahrscheinlich 10 : 16 das wahre Verhältnis der Dichtigkeiten von Wasserdampf und Luft[3]).

Das Ammoniakgas besteht dem Volumen nach aus drei Teilen Wasserstoff und einem Teil Stickstoff, und die Dichtigkeit des Ammoniaks, verglichen mit derjenigen der atmosphärischen Luft, ist 0,596. Gesetzt die Zusammenziehung beider Elemente im Augenblicke der Vereinigung sei der halben Summe der Volumina der beiden Gasarten oder dem Doppelten des Volumens des Stickstoffs gleich, so müfste die Dichtigkeit des Ammoniakgases 0,594 sein. Dieses fast vollkommene Zusammenstimmen beweist, dafs in der

---

1) Berthollet (1748—1822) hervorragender französischer Chemiker.

2) Wie es sich thatsächlich verhält.

3) Also nehmen 2 Raumteile Wasserstoff und 1 Raumteil Sauerstoff nach ihrer Vereinigung zu Wasser 2 Raumteile ein, was sich auch direkt beobachten läfst, wenn die Vereinigung bei einer Temperatur vor sich geht, bei welcher das entstandene Wasser im gasförmigen Zustande verbleibt.

That die Zusammenziehung der Elemente des Ammoniakgases genau so grofs ist wie das doppelte Volumen des Stickstoffs, welcher in die Verbindung eingeht[1]).

Man sieht aus diesen verschiedenen Beispielen, dafs die Zusammenziehung, welche zwei Gasarten erleiden, indem sie sich verbinden, zu dem Volumen derselben in einem einfachen Verhältnis steht. Die unter dieser Voraussetzung berechneten Dichtigkeiten der Verbindungen weichen nur sehr wenig von den Dichtigkeiten ab, welche die Erfahrung giebt, und es ist wahrscheinlich, dafs diese Abweichungen völlig verschwinden, wenn die bezüglichen Versuche mit mehr Genauigkeit wiederholt werden.

---

46. Das von Courtois (1811) entdeckte Jod wird von Gay-Lussac eingehend untersucht.

Gay-Lussac's Untersuchungen über das Jod. 1814[2]).

Gay-Lussac wurde 1778 in St. Léonard (Limousin) geboren, studierte 1797–1800 auf der „École polytechnique", an welcher er später die Professur für Chemie bekleidete, während er gleichzeitig an der Sorbonne Physik vortrug. Gay-Lussac starb 1850 in Paris. Zahlreiche Errungenschaften der Physik und Chemie sind mit seinem Namen verknüpft. Die Abhandlung über das Jod ist eine der besten Monographieen, die bisher über ein Element geschrieben wurde.

Ich habe bereits zweimal über den neuen von Courtois entdeckten Körper Mitteilung gemacht, den ich nach der schönen,

---

1) Dafs 3 Raumteile Wasserstoff sich mit einem Raumteil Stickstoff zu zwei Raumteilen Ammoniak verbunden haben müssen, läfst sich auch zeigen, indem man ein bestimmtes Volumen Ammoniakgas durch fortgesetzte Einwirkung des Induktionsfunkens wieder in seine Bestandteile zerlegt. Es tritt dabei nämlich eine Verdoppelung des Volumens ein, indem aus 2 Raumteilen der Verbindung wieder die vier Raumteile der Komponenten hervorgehen.

2) Annales de Chimie, Bd. 91, S. 5—96. Eine von Ostwald herausgegebene Übersetzung enthält der 4. Bd. von Ostwalds Klassikern der exakten Wissenschaften (Leipzig, Verlag von Wilhelm Engelmann 1889). Dieselbe wurde unter Heranziehung des französischen Originaltextes dem hier gebrachten Auszuge der beiden ersten Kapitel zu Grunde gelegt.

violetten Farbe seines Dampfes Jod[1]) nennen zu dürfen glaube, und habe die Resultate der Versuche mitgeteilt, welche ich, gleich nachdem dieser Körper bekannt geworden war, zur Bestimmung der Natur desselben und der Stelle, die er unter den anderen Elementen einnimmt, angestellt hatte. Seitdem habe ich diesen Untersuchungen neue hinzugefügt, und diese sind es, über welche ich jetzt berichten will.

Das Jod ist im festen Zustande schwarzgrau, sein Dampf aber ist sehr schön violett. Es riecht gerade so wie das Chlor, doch schwächer.

Häufig bildet es Blättchen, welche denen des Eisenglimmers[2]) ähnlich sind, manchmal aber breite und glänzende Blätter oder Tafeln; auch habe ich es in länglichen Oktaedern von ungefähr einem Centimeter Länge erhalten. Es ist sehr weich und zerreiblich und läfst sich sehr fein in der Reibschale pulvern.

Sein Geschmack ist sehr herb, obgleich seine Löslichkeit nur ausnehmend gering ist. Es färbt anfangs die Haut dunkel gelbbraun, diese Farbe verliert sich aber allmählich. Wie das Chlor zerstört es die Pflanzenfarben, doch weit weniger kräftig. Wasser löst ungefähr $^{1}/_{7000}$ seines Gewichtes auf und färbt sich dadurch orangegelb[3]). Sein specifisches Gewicht ist 4,948 bei einer Temperatur von 17° C.

Das Jod schmilzt bei einer Wärme von 107° C. Unter einem Drucke von 76 cm Quecksilberhöhe verflüchtigt es sich bei 175 oder 180° C.[4]). Um diese letzteren Bestimmungen mit Genauigkeit zu erhalten, habe ich Jod in konzentrierte Schwefelsäure, welche nur wenig auf dasselbe einwirkt, gethan und beobachtet, auf welche Temperatur die Schwefelsäure erhitzt werden konnte, bis die Joddämpfe dieselbe durchbrachen. Zwei Versuche, welche unter etwas verschiedenen Umständen angestellt wurden, gaben mir seinen Siedepunkt, der eine = 175°, der andere = 180° C. Dieser Versuch ist nicht ganz gefahrlos. Obgleich ich Glasstückchen in die Schwefelsäure gethan hatte, verwandelte sich doch bei dem zweiten Versuche das Jod mit einem Male in Dampf und trieb die Schwefelsäure, welche mir die rechte Hand und den rechten Fufs stark

---

1) ἰώδης = veilchenblau.

2) Feinblättrige Massen von Eisenoxyd.

3) Bei 10—12° sind zur Lösung von einem Teil Jod etwa 5500 Teile Wasser erforderlich.

4) Nach neueren Angaben liegt der Schmelzpunkt bei 114°, der Siedepunkt bei 184° C.

verbrannte, aus dem Gefäfse. Das Jod geht mit Wasser, dem man es beigemengt hat, beim Destillieren über; man glaubte daher anfangs, es habe ungefähr einerlei Flüchtigkeit mit dem Wasser, dieses ist aber ein Irrtum. Die gleiche Erscheinung findet bei den ätherischen Ölen statt, welche für sich allein erst in einer Wärme von ungefähr 155° kochen, und die man doch, wenn man sie mit Wasser vermengt hat, bei einer Wärme von 100° überdestilliert.

Das Jod scheint die Elektricität nicht zu leiten. Ich brachte ein kleines Stück in eine galvanische Kette; dadurch wurde die Wasserzersetzung augenblicklich gehemmt.

Das Jod ist nicht entzündlich und verbrennlich und läfst sich auf keine Art direkt mit dem Sauerstoff vereinigen. Ich halte es für einen einfachen Körper und stelle es den Versuchen zufolge, die ich teils schon bekannt gemacht habe, teils weiterhin anführen werde, zwischen den Schwefel und das Chlor, weil seine Verwandtschaft zu anderen Elementen stärker als die des ersteren, aber schwächer als die des letzteren ist. Das Jod erzeugt wie diese beiden einfachen Körper zwei Säuren, die eine in Verbindung mit Sauerstoff, die zweite in Verbindung mit Wasserstoff[1]). Da die Säuren, welche das Chlor, das Jod und der Schwefel mit dem Wasserstoff bilden, die Eigenschaften der durch den Sauerstoff gebildeten besitzen, so müssen sie mit ihnen in eine Klasse unter dem gemeinsamen Namen Säuren gestellt werden; um sie aber zu unterscheiden, schlage ich vor, dem speziellen Namen der Säure, welche man in Betracht zieht, die Vorsilbe Hydro- vorzusetzen, sodafs die sauren Verbindungen des Wasserstoffs mit dem Chlor und dem Jod die Namen Hydrochlorsäure und Hydrojodsäure erhalten würden. Die sauren Verbindungen des Sauerstoffs mit denselben Elementen würden auf Grund der gebräuchlichen Nomenklatur Chlorsäure und Jodsäure heifsen[2]).

Das Jod verbindet sich mit den meisten verbrennlichen Körpern; ich habe aber nur einige dieser Verbindungen untersucht. Der Phosphor vereinigt sich mit ihm in verschiedenen Verhältnissen unter Entbindung von Wärme, aber ohne Leuchten[3]).

---

1) J_2O_5 und HJ. Erstere Verbindung ist ein Säureanhydrid, die entsprechende Säure entsteht erst durch Vereinigung desselben mit Wasser.

2) Die Zusammensetzung der Hydrosäuren wird durch die Formeln HCl, HJ ausgedrückt, diejenige der Sauerstoffsäuren durch $HClO_3$, HJO_3.

3) Die Reindarstellung und genauere Erforschung der Verbindungen von Jod mit Phosphor erfolgte erst später. Bekannt sind Zweifach-Jodphosphor und Dreifach-Jodphosphor, PJ_2 und PJ_3. Beide zersetzen das Wasser unter Bildung von Jodwasserstoff: $PJ_3 + 3H_2O = 3HJ + H_3PO_3$.

Aller Jodphosphor, nach welchem Verhältnisse man ihn auch sammengesetzt habe, besitzt die Eigenschaft, wenn man ihn beıchtet, saure Dämpfe auszustofsen, und diese bestehen aus Jodısserstoffgas, welches sich durch Zersetzung des Wassers bildet. Kommt Jodwasserstoff mit Quecksilber in Berührung, so fängt an sich zu zersetzen, und läfst man ihn einige Zeit darüber ›hen oder schüttelt ihn damit, so zersetzt er sich ganz und gar, ›bei sich die Oberfläche des Quecksilbers mit einem grünlichlben Körper bedeckt, der Jodquecksilber ist, bis sich endlich es Gas auf diese Art verwandelt hat. Es bleibt dann nichts rück als reiner Wasserstoff, der genau die Hälfte des Raumes ınimmt wie zuvor das Jodwasserstoffgas. Zink und Kalium ben mir mit Jodwasserstoff, mit welchem ich sie in Berührung achte, ganz die nämlichen Resultate gegeben, nämlich Jodmetall ıd Wasserstoff. Diese Analyse und die Erscheinungen, welche r Jodphosphor mit Wasser geben, sind zusammengenommen so ›erzeugend, dafs über die Natur des Jodwasserstoffgases auch cht der geringste Zweifel bleiben kann.

Das Jodwasserstoffgas ist farblos, riecht wie Chlorwasserstoff, hmeckt sehr sauer, enthält die Hälfte seines Volumens an Wasseroff und sättigt einen dem seinigen gleichen Raum Ammoniak [1]. as Chlor entzieht dem Jodwasserstoff im Augenblicke den Wasseroff; dabei entsteht ein schöner violetter Dampf, und es bildet ch Chlorwasserstoffgas [2].

Um die Dichtigkeit von Jodwasserstoff im Vergleich mit dernigen der atmosphärischen Luft zu bestimmen, wog ich eine äserne Flasche, deren Volumen mir genau bekannt war, voll mosphärischer Luft und dann gefüllt mit diesem Gase. Ich nd so die Dichtigkeit desselben 4,443 mal gröfser als die der mosphärischen Luft.

Setzt man den Jodwasserstoff der Rotglühhitze aus, so zertzt er sich zum Teil. Er zersetzt sich vollständig, wenn man n mit Sauerstoffgas gemengt durch ein rotglühendes Rohr treibt; ›bei Wasser entsteht und das Jod frei wird [3].

Das Jodwasserstoffgas ist im Wasser sehr löslich und giebt esem nicht nur eine grofse Dichtigkeit, wenn es darin in einer wissen Menge aufgelöst ist, sondern macht es auch rauchend. ın erhält so die tropfbare Jodwasserstoffsäure. — Diese Säure

---

[1] $HJ + NH_3 = NH_4J$ (Jodammonium).

[2] $HJ + Cl = HCl + J$.

[3] $2HJ + O = H_2O + J$.

läfst sich indes noch auf eine bequemere Weise herstellen, wenn man, wie wir weiter oben gesehen haben, Jodphosphor in Wasser auflöst und den dabei entstehenden Jodwasserstoff von der sich zugleich bildenden phosphorigen Säure mittelst Destillation trennt[1]. Eine noch leichtere Art, sie zu bilden, ist die folgende; man treibe einen Strom Schwefelwasserstoffgas durch Wasser, worin sich Jod befindet; der Wasserstoff vereinigt sich dann mit dem Jod, und der Schwefel fällt zu Boden[2]. Man erhitzt darauf die Flüssigkeit, um den überschüssigen Schwefelwasserstoff zu verjagen, und erhält dann durch Filtrieren oder durch Abgiefsen, nachdem der Schwefel sich zu Boden gesetzt hat, die Jodwasserstoffsäure sehr rein und ohne Farbe.

Jodwasserstoffsäure läfst sich wie die Schwefelsäure durch Abtreiben des Wassers mittelst Hitze konzentrieren; denn erst wenn die Temperatur bis auf 125° C. gestiegen ist, fängt die Jodwasserstoffsäure an überzudestillieren; alles was früher übergeht, ist nur sehr wenig sauer. Ihre Temperatur läfst sich nicht über 128° C. hinaus bringen, wenn sie frei entweichen kann. Ihre Dichtigkeit beträgt dann 1,7 und verändert sich nicht mehr merklich.

Jodwasserstoffsäure färbt sich, selbst bei gewöhnlicher Temperatur, wenn die Luft Zutritt zu ihr hat. Dabei nimmt sie Sauerstoff auf, der mit einem Teile ihres Wasserstoffs sich zu Wasser vereinigt[3]. Das frei werdende Jod fällt aber nicht nieder, sondern löst sich in der übrigen Jodwasserstoffsäure auf und färbt sie desto stärker rotbraun, je gröfser die Menge des Jods ist.

Konzentrierte Schwefelsäure, Salpetersäure und Chlor zersetzen die Jodwasserstoffsäure augenblicklich, indem sie sich ihres Wasserstoffs bemächtigen und das Jod frei machen, welches entweder niederfällt oder als purpurfarbener Dampf entweicht.

Mit Schwefel bildet das Jod eine Verbindung, welche schwarzgrau und strahlig ist wie Schwefelantimon.

Bei gewöhnlicher Temperatur schien mir trockener wie feuchter Wasserstoff keinerlei Einwirkung auf das Jod zu äufsern. Wenn man aber ein Gemenge von Jod und Wasserstoff in einer Röhre der Rotglut unterwirft, so findet Verbindung statt, und man erhält Jodwasserstoffsäure.

---

[1] $PJ_3 + 3H_2O = 3HJ + H_3PO_3$ (Phosphorige Säure).

[2] $2J + H_2S = 2HJ + S$.

[3] $2HJ + O = H_2O + 2J$.

Kohle wirkt auf das Jod nicht, weder in niederer noch in hr hoher Temperatur. Dagegen greifen mehrere Metalle, wie nk, Eisen, Zinn, Quecksilber und Kalium, wenn sie fein zerteilt nd, das Jod schon in mäſsiger Wärme an. So leicht auch diese erbindungen vor sich gehen, so wird bei ihnen doch nur wenig 'ärme und selten Licht frei. Die Verbindung von Jod und Zink, elche ich Jodzink nenne, ist farblos, leicht schmelzbar und subliiert in schönen, vierseitigen, nadelförmigen Prismen. Sie ist hr löslich in Wasser und zerflieſst schnell an der Luft. Beim uflösen entbindet sich aber kein Gas[1]).

Eisen verhält sich ebenso zu Jod wie Zink. Das Jodeisen ist raun, schmilzt in der Rotglühhitze und löst sich im Wasser auf.

Kalium und Jod verbinden sich unter Freiwerden von viel 'ärme und von Licht, das durch den Joddampf hindurch violett scheint. Das Jodkalium schmilzt und wird verflüchtigt, ehe es ır Rotglut kommt. Die Lösung desselben in Wasser ist vollommen neutral.

Jodblei, Jodkupfer, Jodwismut, Jodsilber und Jodquecksilber nd in Wasser unlöslich, während die Verbindungen des Jods mit en leicht oxydierbaren Metallen löslich sind.

Der Stickstoff läſst sich nicht unmittelbar, sondern nur mittelst es Ammoniaks mit dem Jod verbinden.

Dieser Jodstickstoff läſst sich erhalten, wenn man sehr fein pulvertes Jod in eine Lösung von Ammoniak bringt[2]).

Er hat die Gestalt eines Pulvers, ist bräunlich-schwarz und iallt bei dem leisesten Stoſs und beim Erhitzen unter Entbinıng eines schwachen violetten Lichtes. Ich habe häufig gesehen, ıſs er von selbst explodierte, wenn er gut bereitet war.

---

1) Im Gegensatz zu Jodphosphor, der das Wasser zersetzt. Siehe S. 264, ımerkung 3).

2) $NH_3 + 6J = 3HJ + NJ_3$.

47. Die Entdeckung von Natrium und Kalium. 1807.

H. Davy, Über einige neue Erscheinungen chemischer Veränderungen, welche durch die Elektricität bewirkt werden[1]).

Davy wurde 1778 in Cornwall geboren und starb 1829 in Genf auf einer Reise, die er zur Wiederherstellung seiner frühzeitig geschwächten Gesundheit unternommen hatte. Er war der Sohn eines Holzschnitzers und fand als Apothekerlehrling Gelegenheit, sich in die Naturwissenschaften einzuarbeiten. Im Jahre 1801 wurde er Professor der Chemie in London. Der hier auszugsweise mitgeteilte Vortrag über die Alkalimetalle, welchen Davy im November des Jahres 1807 hielt, war ein wissenschaftliches Ereignis von ganz hervorragender Wichtigkeit. 1820—1827 war Davy Präsident der Royal Society. Populär ist sein Name durch die Erfindung des Bogenlichts und der Sicherheitslampe geworden.

In der Vorlesung, die ich im vergangenen Jahre zu halten die Ehre hatte, sind von mir eine grofse Menge Zersetzungen und chemische Veränderungen beschrieben worden, welche die Elektricität in Körpern bewirkt, deren Bestandteile bekannt sind. Schon damals wagte ich den Schlufs zu ziehen, dafs die neue Methode der Untersuchung zu einer genaueren Kenntnis der Elemente der Körper führen würde. Während einer Reihe sehr mühsamer Anwendungen der Elektrolyse auf Körper, die bisher einfach schienen, und die durch Einwirkung der gewöhnlichen Mittel noch nicht zersetzt worden waren, habe ich das Glück gehabt, neue und merkwürdige Ergebnisse zu erhalten.

Ich versuchte zuerst, die feuerbeständigen Alkalien[2]) in ihren

[1]) Diese Abhandlung erschien 1808 in den Philosophical Transactions unter dem Titel: On some new Phenomena of chemical changes produced by electricity, particularly the decomposition of the fixed alkalies. Dem hier gegebenen Auszuge wurde die in Nr. 45 von Ostwalds Klassikern der exakten Wissenschaften (Leipzig, Verlag von Wilhelm Engelmann, 1893) erschienene Übersetzung zu Grunde gelegt. Letztere ist mit dem Original verglichen und, wo es zweckmäfsig schien, betreffs der Ausdrucksweise Änderungen unterzogen worden.

[2]) Es sind dies die Verbindungen der Metalle Kalium und Natrium mit Sauerstoff, das Kali und das Natron (K_2O und Na_2O), welche vor Davy für unzerlegbare Körper gehalten wurden, wenn auch Lavoisier bereits ihre zusammengesetzte Natur vermutet hatte. Die Alkalien verflüchtigen sich erst bei einer der Weifsglut sich nähernden Temperatur. Auch die Verbindungen von *Kalium*- und Natriumoxyd mit Wasser (KOH und NaOH) werden Alkalien genannt.

wässerigen, bei gewöhnlicher Temperatur gesättigten Lösungen mit Hülfe der stärksten elektrisch-galvanischen Apparate, die mir zu Gebote standen, zu zersetzen. Bei aller Intensität der Wirkung wurde jedoch das Wasser allein angegriffen, und unter grofser Hitze und heftigem Aufbrausen entwickelten sich blofs Wasserstoff und Sauerstoff.

Ich schmolz daher bei meinen ferneren Versuchen Kali, indem ich es in einen Platinlöffel legte und aus einem Gasometer Sauerstoffgas durch die Flamme einer Weingeistlampe darauf blasen liefs. Während das Kali auf diese Art einige Minuten lang in heftiger Rotglühhitze und im Zustande vollkommener Flüssigkeit erhalten wurde, setzte ich den Löffel mit dem positiven und das Kali selbst durch einen Platindraht mit dem negativen Ende des galvanischen Apparates in leitende Verbindung. Bei dieser Anordnung zeigten sich mehrere glänzende Erscheinungen. Das Kali war nun in hohem Grade leitend, und so lange die Verbindung dauerte, sah man am negativen Drahte ein sehr lebhaftes Licht und im Berührungspunkte eine Flammensäule, welche von einem sich hier entbindenden, verbrennbaren Stoff herzurühren schien[1]). Als ich die Anordnung änderte und den negativen Draht mit dem Platinlöffel, den positiven mit dem Platindraht, der das Kali berührte, verband, erschien an der Spitze des Drahtes ein lebhaftes, bleibendes Licht; um dasselbe liefs sich aber nichts wahrnehmen, was einem Verbrennen geglichen hätte.

Das Kali schien bei diesem Versuche vollkommen trocken zu sein, und es liefs sich daher annehmen, dafs der brennbare Körper, welcher während der Einwirkung der Elektricität am negativen Drahte sich zu bilden schien, durch die Zersetzung des Kali entstehe. Ich versuchte es auf verschiedene Weise, diesen brennbaren Körper aufzufangen, jedoch umsonst. Dies gelang mir erst, als ich die Elektricität zugleich als Schmelzungs- und Zersetzungsmittel auf das Kali einwirken liefs.

Kali, das man durch Glühen vollkommen getrocknet hat, ist zwar ein Nichtleiter der Elektricität, wird aber schon leitend durch sehr wenig Feuchtigkeit, welche den festen Zustand desselben nicht merklich ändert; in diesem Zustande nun wird es durch eine etwas energische elektrische Einwirkung geschmolzen und zersetzt.

Ich nahm ein kleines Stück reines Kali, liefs es einige Sekunden mit der Atmosphäre in Berührung, wodurch es an der

[1]) Das freiwerdende Metall Kalium verband sich bei dieser Versuchsanordnung gleich wieder mit dem Sauerstoff der atmosphärischen Luft.

Oberfläche leitend wurde, legte es auf eine isolierte Platinscheibe, die mit dem negativen Ende einer Batterie von 250 Plattenpaaren verbunden war, und berührte die Oberfläche des Kali mit dem positiven Platindrahte. Der ganze Apparat stand an freier Luft. Sogleich zeigte sich eine sehr lebhafte Wirkung. Das Kali begann zu schmelzen. An der oberen Fläche sah man ein heftiges Aufbrausen; an der unteren oder negativen Fläche war keine Gasentwicklung wahrzunehmen; ich entdeckte aber kleine Kügelchen, die einen sehr lebhaften Metallglanz hatten und völlig wie Quecksilber aussahen.

Eine Menge von Versuchen bewiesen mir bald, dafs diese Kügelchen die Substanz waren, nach der ich suchte: ein brennbarer Körper eigentümlicher Art, und zwar das dem Kali zu Grunde liegende Metall. Ich fand, dafs die Gegenwart von Platin ohne Einflufs auf das Resultat ist, und dafs dies Metall nur die Elektricität zuführte, welche die Zersetzung bewirken soll. Es entstand nämlich immer dieselbe Substanz, ich mochte den Stromkreis durch Stücke Kupfer, Silber, Gold, Graphit oder selbst durch Kohle schliefsen.

Natron gab ähnliche Resultate wie das Kali, wenn man es auf dieselbe Art behandelte.

Bei allen Zersetzungen chemischer Verbindungen, welche ich bis dahin untersucht hatte, waren stets die brennbaren Elemente am negativen Pole entbunden worden, während der Sauerstoff am positiven Pole zum Vorschein kam oder dort in Verbindung trat. Es war daher der natürlichste Gedanke, dafs bei der Einwirkung der Elektricität auf die Alkalien die neuen Substanzen auf ganz ähnliche Weise erzeugt werden.

Ich habe mehrere Versuche in einem mit Quecksilber abgesperrten Apparat, bei welchem die äufsere Luft ausgeschlossen war, angestellt. Diese bewiesen, dafs sich die Sache in der That so verhält. Wenn man nämlich festes Kali oder Natron, die so viel Feuchtigkeit eingesogen haben, dafs sie die Elektricität leiten, in Glasröhren einschliefst, welche mit Platindrähten versehen und vermöge derselben in den Stromkreis gebracht sind, so entstehen die neuen Substanzen an den negativen Metallflächen. Das Gas, welches sich während dessen an der positiven Metallspitze entbindet, ist ganz reiner Sauerstoff, wie die sorgfältigste und genaueste Prüfung mir bewiesen hat. Am negativen Pole erscheint gar kein Gas, aufser wenn Wasser im Überflusse vorhanden ist[1].

[1]) Dann wird nämlich durch die Einwirkung des entstandenen Kaliums auf das Wasser Wasserstoff entwickelt.

Auch die folgenden synthetischen Versuche stimmen hiert vollkommen überein:

Die aus dem Kali erzeugte Substanz verliert ihren Metallglanz der Luft fast augenblicklich und überzieht sich mit einer ifsen Rinde. Ich fand sehr bald, dafs diese Rinde reines Kali , welches sogleich zerfliefst; es bildet sich dann eine neue Rinde, wieder Feuchtigkeit aus der Luft an sich zieht, und endlich rschwindet das Kügelchen ganz, und man hat statt desselben ıe gesättigte Lösung von Kali[1].

In besonders dazu eingerichteten, durch Quecksilber abgeerrten Glasröhren wurden einige Kügelchen mit atmosphärischer ıft, andere mit Sauerstoff in Berührung gebracht. Sie verıluckten augenblicklich den Sauerstoff und überzogen sich mit ıer Rinde von Kaliumoxyd. Da es aber an Feuchtigkeit, daslbe aufzulösen, fehlte, so beschränkte sich der Prozefs hierauf, ıd das Innere des Kügelchens blieb unverändert, indem die Rinde s Sauerstoffgas aufser Berührung mit demselben setzte.

Mit dem Grundstoff des Natrons (dem Element Natrium) erlgen in beiden Fällen ähnliche Wirkungen.

Werden die aus Kali und Natron erhaltenen Elemente in ner gegebenen, rings umschlossenen Menge Sauerstoff erhitzt, verbrennen sie schnell mit weifser glänzender Flamme, und die etallischen Kügelchen verwandeln sich in eine feste weifse Masse, elche aus Kali oder Natron besteht, je nachdem man Kalium ler Natrium zu dem Versuche genommen hat. Dabei wird Sauerıoff verschluckt. Die Oxyde, welche bei diesem Versuche entanden, waren dem Anscheine nach trocken, oder enthielten enigstens nicht mehr Feuchtigkeit, als sich in dem verschluckten ıuerstoffgas befunden haben konnte. Ihr Gewicht übertraf das r verbrannten Substanzen bedeutend.

Diese Thatsachen berechtigen uns anzunehmen, dafs sich Kali ıd Natron in Sauerstoff und in zwei eigentümliche Grundstoffe rlegen lassen, wie Phosphorsäure, Schwefelsäure und Metalloxyde Sauerstoff und eigentümliche, brennbare Grundstoffe zersetzbar ıd[2].

---

[1] $2K + O = K_2O$; $K_2O + H_2O = 2KOH$.

[2] Damals wurden die Oxyde von Phosphor und Schwefel als Säuren zeichnet, während wir jetzt der Vereinigung dieser Oxyde mit Wasser den ımen Säure beilegen.

Die Eigenschaften des Kaliums.

Ich habe sehr viel Schwierigkeit gefunden, die Grundstoffe der feuerbeständigen Alkalien, nachdem ich sie entdeckt hatte, aufzubewahren und sie so zu verschliefsen, dafs sich ihre Eigenschaften untersuchen liefsen. Steinöl ist von den Flüssigkeiten, welche ich daraufhin untersucht habe, diejenige, auf welche diese Stoffe die geringste Einwirkung zu haben scheinen. Sie erhalten sich darin, wenn die atmosphärische Luft ausgeschlossen ist, mehrere Tage lang, ohne sich merklich zu verändern; und zur Untersuchung ihrer physikalischen Eigenschaften kann man sie selbst an die offene Luft bringen, wenn sie mit einer dünnen Hülle von Steinöl umgeben sind.

Das Kalium erscheint bei 60° Fahrenheit in kleinen Kügelchen, welche den Metallglanz, die Undurchsichtigkeit und die übrigen äufserlichen Eigenschaften des Quecksilbers haben. Das Auge vermochte sie nicht von Quecksilberkügelchen zu unterscheiden, wenn sie daneben gelegt wurden[1]).

In dieser Temperatur ist jedoch das Kalium nur unvollkommen flüssig; bei 70° F. wird Kalium flüssiger, und bei 100° F. ist seine Flüssigkeit vollkommen, so dafs mehrere Kügelchen sich leicht zu einem einzigen vereinigen lassen. Bei einer Temperatur von 50° F. wird es zu einem festen Körper, der weich und hämmerbar ist und den Glanz des polierten Silbers hat. Nähert sich die Temperatur dem Gefrierpunkte, so wird das Kalium härter und brüchiger[2]).

Um in Dampf verwandelt zu werden, erfordert das Kalium eine Temperatur, welche der Rotglühhitze nahe kommt. Es ist ein vollkommener Leiter der Elektricität und ein vortrefflicher Wärmeleiter. Obgleich es in den bisher erwähnten Eigenschaften mit den Metallen übereinstimmt, so unterscheidet es sich von ihnen doch durch sein spezifisches Gewicht[3]).

Noch aufserordentlicher als diese physikalischen Eigenschaften ist das chemische Verhalten des Kaliums. Vom Verbrennen desselben im Sauerstoff habe ich bereits geredet. Langsam und ohne

---

1 Kalium schmilzt bei 62,5° und Natrium bei 95,6° Celsius. Die Legierung beider Metalle ist aber bei gewöhnlicher Temperatur flüssig. Der niedrige Schmelzpunkt, den Davy für Kalium angiebt, rührt deshalb wohl daher, dafs das von ihm der Elektrolyse unterworfene Kali etwas Natron enthielt.

2) 50, 60, 70, 100 Grad Fahrenheit sind annähernd gleich 10, 16, 21, 38 Grad Celsius.

3) Dasselbe ist 0,865. Davy hielt es nach seinen Bestimmungen für noch geringer.

Flamme verbindet es sich mit Sauerstoff bei gewöhnlicher Temperatur. In der Hitze dagegen findet ein schnelles Verbrennen statt; das Licht ist dabei blendend weifs und die Hitze sehr stark.

Wirft man Kalium auf Wasser, das mit der Luft in freier Berührung ist, oder bringt man es in einen Tropfen Wasser, so wird letzteres mit grofser Heftigkeit zersetzt; es entsteht augenblicklich eine heftige Explosion mit glänzender Flamme, und man erhält eine Auflösung von reinem Kali. Ist dagegen die Luft ausgeschlossen, so erfolgt eine heftige Zersetzung des Wassers mit viel Hitze und Geräusch, aber ohne Licht, und das Gas, welches man mittelst des pneumatischen Quecksilber- oder Wasserapparats auffängt, ist reiner Wasserstoff.

Auch auf Eis entzündet sich ein Kügelchen Kalium augenblicklich mit einer glänzenden Flamme; man findet dann im Eise ein ziemlich tiefes Loch, das zum Teil mit einer Auflösung von Kali angefüllt ist[1]).

Das Kalium hat eine so ausgezeichnete Verwandtschaft zum Sauerstoff und wirkt auf das Wasser, so mächtig ein, dafs es zu Alkohol und Äther gebracht die geringe Menge Wasser, welche auch nach sorgfältiger Reinigung in diesen Flüssigkeiten vorhanden ist, zersetzt. Im Äther ist Kali unlöslich. Während das Kalium sich des Sauerstoffs des dem Äther beigemischten Wassers bemächtigt, steigt Wasserstoffgas empor.

Metalloxyde, die man mit Kalium erhitzt, werden schnell reduziert. Als ich ein wenig Eisenoxyd mit Kalium auf eine Temperatur erwärmte, bei welcher das Kalium überdestilliert, entstand eine lebhafte Einwirkung. Es erschienen Teilchen Kali und Teilchen eines grauen Metalls, das sich in Salzsäure unter Aufbrausen löste. Bleioxyd und Zinnoxyd wurden noch schneller reduziert. War Kalium im Überschufs vorhanden, so verband sich das wiederhergestellte Metall mit dem Kalium zu einer Legierung.

Die Eigenschaften des Natriums.

Das Natrium, der Grundstoff des Natrons, ist, wie schon erwähnt, bei gewöhnlicher Temperatur ein fester Körper. Es ist weifs und undurchsichtig, und wenn man es durch einen dünnen Überzug von Steinöl sieht, so hat es den Glanz und die Farbe

---

1) Das Kalium reduziert das Wasser, d. h. es entzieht demselben seinen Sauerstoff, wodurch der Wasserstoff in Freiheit gesetzt wird: $2K + H_2O = K_2O + 2H$.

des Silbers. Es ist aufserordentlich dehnbar und weifser als irgend eins der gewöhnlichen Metalle. Natrium ist ein Leiter der Elektricität und der Wärme wie das Kalium. Sein spezifisches Gewicht ist geringer als das des Wassers. Es schwimmt auf Sassafrasöl vom spezifischen Gewichte 1,096, sinkt aber in Naphta vom spezifischen Gewicht 0,86 zu Boden. Dieser Umstand hat mich in den Stand gesetzt, das spezifische Gewicht des Natriums mit Genauigkeit zu bestimmen. Ich mischte nämlich diese beiden Öle, die sich vollkommen durchdringen, in verschiedenen Verhältnissen, bis ich eine Flüssigkeit erhielt, in welcher das Kügelchen in jeder Tiefe schweben blieb. Diese Mischung bestand ungefähr aus 12 Teilen Naphta und 5 Teilen Sassafrasöl, was für das spezifische Gewicht der Mischung 0,9348 ergiebt[1]).

Das Natrium wird erst in einer sehr viel höheren Temperatur wie das Kalium flüssig. Seine Teilchen fangen bei 120° F. an, ihre Kohäsion zu verlieren, und um 180° F.[2]) ist es vollkommen flüssig.

Das chemische Verhalten des Natriums ist im ganzen dem des Kaliums ähnlich, doch finden sich dabei einige charakteristische Verschiedenheiten.

Bringt man das Natrium mit der Luft in Berührung, so läuft es wie das Kalium sogleich an und überzieht sich allmählich mit einer weifsen Rinde, welche aber langsamer als beim Kalium zerfliefst. Ich habe diese Rinde sorgfältig untersucht, sie war nichts als reines Natron.

Bei gewöhnlicher Temperatur verbindet sich das Natrium mit dem Sauerstoff langsam. Wenn man es erhitzt, so geht die Verbindung schneller vor sich; Licht erscheint aber dabei erst, wenn man die Temperatur bis nahe an die Glühhitze erhöht hat. Im Sauerstoff brennt Natrium mit weifser Flamme und sprüht glänzende Funken umher.

Am auffallendsten giebt sich die Natur des Natriums durch seine Einwirkung auf Wasser zu erkennen. Wenn man es auf Wasser wirft, entsteht sogleich ein heftiges Aufbrausen und Zischen; es bildet mit dem Sauerstoff des Wassers Natron, welches sich sogleich auflöst; dabei entweicht Wasserstoffgas, ohne dafs Lichtentwicklung eintritt. Auf heifsem Wasser ist die Zersetzung heftiger, und es zeigt sich an der Oberfläche des Wassers meist

[1]) Genauere Bestimmungen haben für das spezifische Gewicht des reinen Natriums den Wert 0,974 ergeben.

[2]) 180° F. = 82° C. Der wahre Schmelzpunkt ist 95,6° Celsius.

ein kleines Funkensprühen, welches wahrscheinlich von Teilchen der Substanz herrührt, die abgerissen und mit der zur Entzündung nötigen Temperatur in die Luft geschleudert werden. Wenn man indes ein Kügelchen mit einem kleinen Wassertröpfchen oder mit feuchtem Papier in Berührung bringt, so reicht die Hitze, welche entsteht, gewöhnlich hin, das Natrium zu entzünden, weil in diesem Falle kein Körper da ist, der die Wärme schnell entführt.

Auf Alkohol und auf Äther wirkt das Natrium gerade so wie das Kalium. Das in diesen Flüssigkeiten enthaltene Wasser wird zersetzt, es bildet sich schnell Natron und der Wasserstoff entweicht[1]).

Es ist nicht unwahrscheinlich, dafs die alkalischen Erden Verbindungen derselben Art wie die Alkalien sind, d. h. metallische Grundstoffe von hoher Brennbarkeit verbunden mit Sauerstoff. Ich habe unter diesem Gesichtspunkte einige Versuche mit Baryt und mit Strontian angestellt; sie schienen mir diese Annahme zu bestätigen[2]).

Unter allen Erden haben Baryt und Strontian die ausgezeichnetste Ähnlichkeit mit den Alkalien. Doch ist diese Ähnlichkeit nicht auf sie allein beschränkt, sie läfst sich auch im Kalk, in der Magnesia, in der Thonerde und in der Kieselerde[3]) nachweisen. Wir haben daher allen Grund zu hoffen, dafs auch diese widerspenstigen Körper der Einwirkung sehr mächtiger Batterien nicht widerstehen, und dafs ihre Bestandteile uns mit Hülfe dieser neuen Methode der Analyse in Zukunft offenbar sein werden[4]).

Die Verwandtschaftskräfte der neuen Metalle, welche in den Alkalien enthalten sind, führen zu einer nicht zu ermessenden Menge von Versuchen.

Diese Körper werden mächtige Agentien für die chemische Analyse, und da sie an Verwandtschaft zum Sauerstoff alle anderen bekannten Körper übertreffen, so werden sie vielleicht bei einigen

---

1) Aus diesem Grunde findet das Natrium Verwendung, um absoluten Alkohol zu bereiten, d. h. dem Alkohol die letzten Spuren Wasser zu entziehen.

2) Unter dem Namen alkalische Erden werden die Oxyde der Metalle Calcium, Strontium und Barium (CaO, SrO, BaO) zusammengefafst, welche früher als Kalk, Strontian und Baryt bezeichnet wurden.

3) Magnesia, Thonerde, Kieselerde sind die Oxyde von Magnesium, Aluminium und Silicium (MgO, Al_2O_3, SiO_2).

4) Barium, Strontium, Calcium und Magnesium wurden bald darauf von Davy selbst isoliert. Silicium wurde zuerst von Berzelius 1823 hergestellt. Die Abscheidung des Aluminiums aus der Thonerde gelang Wöhler im Jahre 1827 (Siehe Abschnitt 48 dieses Buches).

bisher nicht zerlegten Stoffen die Anwendung der Elektricität ersetzen können und sie zerlegen[1]).

Es würde leicht sein, diese Spekulationen noch weiter auszudehnen, doch enthalte ich mich dessen, denn die Absicht dieser Vorlesung besteht nicht darin, Hypothesen aufzustellen, sondern dem Naturforscher eine Reihe neuer Thatsachen bekannt zu machen.

---

48. Die Entdeckung des Aluminiums. 1827.

F. Wöhler, Über das Aluminium[2]).

Friedrich Wöhler wurde am 31. Juli 1800 in der Nähe von Frankfurt a. M. geboren, studierte zunächst Medizin, begab sich dann aber nach Stockholm zu Berzelius, um von diesem ganz für die Chemie gewonnen zu werden. Im Jahre 1824 wurde Wöhler Lehrer der Chemie an der Gewerbeschule zu Berlin. Hier entdeckte er das Aluminium und begründete durch seine Synthese des Harnstoffs (1828) die neuere organische Chemie, deren rasche Erfolge vor allem dazu beitrugen, den Glauben an eine besondere Lebenskraft zu erschüttern (Siehe 56). Vom Jahre 1836 bis zu seinem Tode (23. September 1882) bekleidete Wöhler eine Professur in Göttingen.

Vor einigen Jahren entdeckte man eine flüchtige Verbindung von Chlor mit dem Radikal[3]) der Thonerde durch Anwendung eines Verfahrens, welches darin besteht, dafs man über glühende, mit Kohlenpulver gemengte Thonerde Chlorgas streichen läfst.

Nach diesem Verfahren kann man sich Chloraluminium leicht und in Menge verschaffen[4]). Ich verfuhr dabei auf folgende Art:

---

[1]) Silicium und Aluminium wurden thatsächlich zuerst durch Einwirkung der Alkalimetalle auf die Verbindungen jener Elemente dargestellt; die Gewinnung des Aluminiums durch Elektrolyse ist neueren Datums.

[2]) Poggendorffs Annalen der Physik und Chemie, Bd. XI. 1827.

[3]) Unter dem Radikal eines Oxyds ist das an Sauerstoff gebundene Element zu verstehen. Dafs die Thonerde eine Sauerstoffverbindung sei, hatte schon Davy vermutet, nachdem er Kali und Natron als Oxyde erkannt hatte (Siehe die vorige Seite). Die Zusammensetzung der Thonerde wird durch die Formel $Al_2 O_3$ wiedergegeben.

[4]) Die Bildung des Chloraluminiums verläuft nach folgender Gleichung:

$$Al_2 O_3 + 3C + 6Cl = 3CO + 2Al Cl_3.$$

Die Kohle allein vermag der Thonerde ($Al_2 O_3$) den Sauerstoff nicht zu entziehen. Dies geschieht erst, wenn das Chlor gleichzeitig den zweiten Bestandteil der Thonerde, das Aluminium, in Angriff nimmt.

Die aus einer heifsen Alaunauflösung durch eine heifse Lösung von kohlensaurem Kali gefällte Thonerde wurde sehr gut ausgewaschen, getrocknet und dieses Hydrat [1]) mit Kohlenpulver, Zucker und Öl zu einem dicken Teige vermischt, der in einem bedeckten Tiegel so lange geglüht wurde, bis alle organische Materie zerstört war. Auf diese Art läfst sich bekanntlich eine Substanz sehr innig mit Kohlenstoff mengen. — Dieses schwarze Gemenge wurde noch heifs in eine Porzellanröhre gefüllt, und diese in einen länglichen Ofen gelegt. Auf der einen Seite war die Porzellanröhre mit einem Rohr voll geschmolzenen Chlorcalciums [2]) und einem Chlorentwicklungsapparat verbunden; auf der anderen mündete sie in einen kleinen gläsernen Ballon, der mit einer Ableitungsröhre versehen war. Als sich der Apparat mit Chlorgas gefüllt hatte, wurde die Röhre zum Glühen gebracht, wobei sich sehr bald Chloraluminium zu bilden begann. In dem Ballon setzte sich nach und nach ziemlich viel Chloraluminium pulverförmig ab. Nachdem der Vorgang etwa $1^1/_2$ Stunden gedauert hatte, traten Zeichen ein, dafs das Chloraluminium die ungefähr $^1/_2$ Zoll weite Porzellanröhre an der Stelle, wo sie in den Ballon mündete, verstopft hatte, weshalb der Versuch unterbrochen werden mufste.

Auf der Zersetzbarkeit des Chloraluminiums durch Kalium und auf der Eigenschaft des Aluminiums, sich im Wasser nicht zu oxydieren, beruht nun die Art, wie mir die Darstellung dieses Metalles gelang. Erwärmt man in einer Glasröhre ein kleines Stückchen Chloraluminium mit Kalium, so wird die Röhre durch die heftige, von starkem Erglühen begleitete Einwirkung zerschmettert. Ich versuchte dann diese Zersetzung in einem kleinen Platintiegel, worin sie ganz gut gelang. Die Einwirkung ist immer so heftig, dafs man den Deckel mit einem Drahte befestigen mufs, wenn er nicht abgeworfen werden soll, und dafs in dem Augenblicke der Reduktion der nur schwach von aufsen erhitzte Tiegel plötzlich von innen heraus glühend wird. Das Platin wird dabei so gut wie gar nicht angegriffen. Um indessen doch vor einer möglichen Beimengung von abgelöstem Platin zu dem entstandenen Aluminium ganz sicher zu sein, machte ich diese Reduktionsversuche nachher immer in einem kleinen Porzellantiegel und verfuhr

[1]) Das Hydrat oder Hydroxyd ist die Verbindung eines Metalls mit Sauerstoff und Wasserstoff. Das Hydrat des Aluminiums hat die Zusammensetzung $Al(OH)_3$. Beim Erhitzen geht es unter Abgabe von Wasser in das Oxyd über: $2\,Al(OH)_3 = Al_2O_3 + 3\,H_2O$.

[2]) Zum Trocknen des Chlorgases.

dabei auf folgende Art: Man legt auf den Boden des Tiegels einige vom anhängenden Steinöl wohl befreite Stücke Kalium und bedeckt diese mit dem Volumen nach ungefähr gleichviel Chloraluminium. Hierauf erhitzt man den mit seinem Deckel bedeckten Tiegel anfangs gelinde, damit er nicht bei der im Innern vor sich gehenden Wärmeentwicklung zerspringt, und dann stärker. Die entstandene Masse ist in der Regel völlig geschmolzen und schwarzgrau. Man wirft den völlig erkalteten Tiegel in ein grofses Glas voll Wasser, worin sich die Salzmasse[1]) auflöst. Dabei scheidet sich ein graues Pulver ab, das bei näherer Betrachtung, besonders im Sonnenscheine, aus lauter kleinen Metallflittern zu bestehen scheint. Nachdem das Pulver sich abgesetzt hat, giefst man die Flüssigkeit ab, bringt das Pulver auf ein Filter, wäscht es mit kaltem Wasser aus und trocknet es. Es ist Aluminium.

Das Aluminium bildet ein graues Pulver, sehr ähnlich dem Pulver von Platin; meist sind darin auch nach dem Trocknen metallglänzende Flittern zu bemerken. Einige male erhielt ich kleinere, etwas zusammenhängende Massen, die an mehreren Stellen zinnweifsen Metallglanz hatten. Unter dem Polierstahl nimmt das Aluminium leicht vollkommen zinnweifsen Metallglanz an.

Erhitzt man das Metall bis zum Glühen an der Luft, so entzündet es sich und verbrennt mit grofsem Glanze zu weifser, ziemlich harter Thonerde[2]). Streut man das pulverförmige Aluminium in eine Flamme, so bildet jedes Stäubchen einen sprühenden Funken, ebenso glänzend wie Eisen, das in Sauerstoff verbrennt. In reinem Sauerstoff verbrennt das Aluminium mit einem Glanze, den das Auge kaum ertragen kann, und mit einer so starken Wärmeentwicklung, dafs die dabei entstehende Thonerde wenigstens teilweise schmilzt. Die so geschmolzenen Stückchen Thonerde sind gelblich und gewifs ebenso hart wie die natürlich vorkommende, krystallisierte Thonerde, nämlich der Korund; sie ritzen nicht blofs Glas, sondern sie schneiden dasselbe.

Im Wasser oxydiert sich das Aluminium bei gewöhnlicher Temperatur nicht[3]), und Wasser kann von einem darin liegenden blanken Aluminumblättchen abdunsten, ohne dafs letzteres seinen

---

[1]) Das Salz ist Chlorkalium. Die Reduktion des Chloraluminiums zu Aluminium findet nach folgender Gleichung statt: $AlCl_3 + 3K = 3KCl + Al$.

[2]) $2Al + 3O = Al_2O_3$.

[3]) Im Gegensatz zu Kalium und Natrium, die sich im Wasser auf Kosten des Sauerstoffs desselben oxydieren (Siehe Abschn. 47, S. 273 u. 274).

Glanz verliert. Erwärmt man aber das Wasser nahezu bis zum Kochen, so fängt das Metall an, schwach Wasserstoffgas zu entwickeln[1].

Von konzentrierter Schwefelsäure und Salpetersäure wird das Aluminium bei gewöhnlicher Temperatur nicht angegriffen. In erhitzter Schwefelsäure löst es sich unter Entwicklung von schwefligsaurem Gas rasch auf[2]. In verdünnter Salzsäure löst es sich unter Wasserstoffentwicklung.

In einer selbst schwachen Auflösung von Ätzkali oder Ätznatron löst sich dieses Metall ganz leicht unter Wasserstoffentwicklung klar auf[3].

In einem Strom von Chlorgas erhitzt, entzündet sich das Aluminium und verbrennt zu Chloraluminium.

Läfst man Schwefel auf glühendes Aluminium fallen, sodafs es sich in einer Atmosphäre von Schwefelgas befindet, so geht die Vereinigung unter sehr lebhaftem Erglühen der ganzen Masse vor sich. Das Schwefelaluminium ist eine schwarze Substanz, die unter dem Polierstahle eisenschwarzen Metallglanz annimmt. An der Luft riecht es stark nach Schwefelwasserstoff. In reines Wasser gebracht, entwickelt es rasch Schwefelwasserstoff unter Abscheidung grauer Thonerde[4].

---

49. Cuviers Katastrophentheorie. 1812.

G. Cuvier, Die Umwälzungen der Erdrinde. Ausgewählte Abschnitte der einleitenden Kapitel[5].

Biographische Bemerkungen über Cuvier siehe Abschnitt 42.

Die am niedrigsten gelegenen ebensten Teile der Erdoberfläche zeigen uns, selbst wenn wir bis auf bedeutende Tiefen in

---

1) Bei höherer Temperatur wird also das Wasser durch Aluminium in derselben Weise wie durch Kalium und Natrium zersetzt. Bei der Rotglut vermag auch Eisen das Wasser unter Entwicklung von Wasserstoff zu zerlegen: $3Fe + 4H_2O = Fe_3O_4 + 8H$.

2) Unter Bildung von schwefelsaurem Aluminium, $Al_2(SO_4)_3$.

3) $Al + 3NaOH = 3H + Al(ONa)_3$.

4) $Al_2S_3 + 3H_2O = Al_2O_3 + 3H_2S$.

5) Aus „Discours sur les révolutions de la surface du globe et sur les changements qu'elles ont produits dans le règne animal par G. Cuvier. 6. Edition, Paris 1830, p. 7—23", übersetzt von F. Dannemann.

sie eindringen, nur horizontale Schichten von gröfserer oder geringerer Verschiedenheit in ihrer Zusammensetzung; dieselben schliefsen fast ausnahmslos unzählige Erzeugnisse des Meeres ein. Aus ähnlichen Schichten ist das hügelige Land gebildet. Mitunter sind die Muschelschalen so zahlreich, dafs sie für sich die ganze Masse des Bodens ausmachen. Sie finden sich in Höhen, welche den Spiegel der Meere überragen, und zu welchen in der Jetztzeit kein Meer durch die gegenwärtig wirkenden Ursachen erhoben werden könnte. Diese organischen Überreste finden sich nicht nur in losem Sand, sondern das härteste Gestein schliefst sie oft ein und hat alle ihre Teile ausgefüllt. Sämtliche Gegenden der Welt, nicht nur die Kontinente, sondern auch alle Inseln von einiger Ausdehnung, bieten dieselbe Erscheinung. Die Zeit ist vorüber, dafs die Unwissenheit behaupten konnte, diese Überreste organisierter Körper seien blofse Naturspiele oder Erzeugnisse, welche im Schofse der Erde durch die schöpferische Thätigkeit der letzteren entstanden seien. Eine genaue Vergleichung der Formen dieser Überreste, ihrer Struktur, ja selbst oft ihrer chemischen Zusammensetzung zeigt nicht den geringsten Unterschied zwischen den fossilen Muscheln und denen, welche das Meer noch heute birgt. Ihre Erhaltung ist nicht weniger vollkommen; die kleinsten Arten bewahrten ihre zartesten Teile bis auf die feinsten Hervorragungen und dünnsten Spitzen. Sie haben also nicht nur im Meere gelebt, sondern sie wurden auch vom Meere abgesetzt. Das Meer hat sie an den Orten, wo man sie jetzt findet, zurückgelassen; es mufs sich folglich dort befunden haben, und zwar lange genug, um daselbst so regelmäfsige, ausgedehnte und stellenweise so feste Ablagerungen zu bilden, wie diejenigen, welche diese Überreste von Wassertieren beherbergen. Das Meeresbecken hat also eine Änderung erlitten, sei es, dafs seine Ausdehnung oder dafs seine Lage davon betroffen wurde. Das ist es, was schon die ersten Nachforschungen und die oberflächlichste Betrachtung lehrt.

Die Spuren der Umwälzungen werden deutlicher, wenn man etwas höher emporsteigt und sich dem Fufse der grofsen Gebirgsketten nähert. Es giebt auch dort noch Versteinerungen führende Schichten. Die Versteinerungen sind ebenso zahlreich und ebenso wohl erhalten; aber es sind nicht mehr dieselben Arten. Die Schichten, welche sie führen, sind auch im allgemeinen nicht mehr horizontal; sie sind geneigt, mitunter sogar fast senkrecht. Während man in ebenen oder hügeligen Gegenden tief eindringen mufs, um die Reihenfolge der Schichten zu erkennen, sieht man sie hier

im Profil, wenn man den Thälern folgt, welche durch ihre Zerreifsung entstanden sind.

Diese geneigten Schichten, welche die Ketten der sekundären Gebirge zusammensetzen, sind nun nicht etwa den horizontalen Bänken der Niederungen aufgelagert; sie senken sich im Gegenteil unter dieselben hinab, sodafs der Boden der Niederungen sich den geneigten Schichten seitlich anlagert.

Wenn man in der Nähe eines Gebirges, das aus den letzteren besteht, in die horizontalen Schichten eindringt, so begegnet man den geneigten in der Tiefe wieder. Mitunter, wenn die geneigten Schichten sich nicht zu hoch erheben, sind ihre Gipfel von horizontalen Bänken bedeckt. Die ersteren sind demnach früher entstanden als die letzteren. Und da sie anfänglich auch horizontal gewesen sein müssen, so folgt daraus, dafs sie emporgerichtet wurden, bevor die anderen sich daran angelehnt haben. Das Meer hat also, bevor es die horizontalen Ablagerungen bildete, schon andere Schichten abgesetzt, die aus irgend welchen Ursachen auf tausendfache Weise zerbrochen, aufgerichtet und umgestürzt wurden.

Wenn man eingehender die verschiedenen Schichten und die von ihnen eingeschlossenen fossilen Reste vergleicht, so erkennt man alsbald, dafs das Urmeer während der ganzen Zeit seines Bestehens weder unter sich ähnliche Gesteinschichten abgelagert hat, noch tierische Überreste derselben Art, dafs ferner keine seiner Ablagerungeren sich über die gesamte Fläche erstreckt, welche dieses älteste Meer bedeckte. Je älter die Schichten sind, um so einförmiger erscheinen sie auf weite Erstreckung, je jünger sie sind, um so begrenzter sind sie und zeigen sich schon auf geringe Entfernungen Änderungen unterworfen. Der Bildung der Schichten ging also ein Wechsel in der Beschaffenheit der Wassermasse, sowie der Stoffe, welche sie in Lösung enthielt, parallel.

Man begreift, dafs inmitten solcher Änderungen der Natur des Meeres die Lebewesen, welche es ernährte, nicht dieselben bleiben konnten. Die Arten, ja selbst die Gattungen wechselten. Und wenn auch gewisse Arten wiederkehren, so läfst sich doch im allgemeinen behaupten, dafs die älteren Formationen ihre für sie charakteristischen Formen aufweisen. Allmählich verschwinden diese, um in den neueren Bildungen nicht mehr wiederzukehren, zumal nicht in dem Meere der Jetztzeit. Im Gegensatz dazu stehen

die Versteinerungen der jüngeren Schichten hinsichtlich der Gattung den Geschöpfen nahe, welche unsere Meere bevölkern. In gewissen neueren Ablagerungen endlich kommen sogar Arten vor, welche das geübteste Auge nicht von solchen unterscheiden kann, die an den benachbarten Küsten leben.

Es fand also in der organischen Welt eine Folge von Veränderungen statt, welche durch einen Wechsel in der Beschaffenheit des Mediums veranlafst wurden oder einem solchen wenigstens parallel gingen. Als endlich das Meer sich zum letzten Male von unseren Kontinenten zurückzog, wichen seine Bewohner nur wenig von den Geschöpfen ab, die es noch heute ernährt. Wir sagen zum letzten Male; wenn man nämlich mit etwas mehr Sorgfalt die organischen Überreste prüft, so gelangt man zu der Einsicht, dafs inmitten selbst der ältesten Meeresbildungen Schichten vorkommen, welche mit tierischen und pflanzlichen Erzeugnissen des Festlandes und des süfsen Wassers angefüllt sind. Es haben also die wiederholten Katastrophen, welche die Lage der Schichten veränderten, nicht nach und nach die verschiedenen Teile unserer Kontinente aus dem Schofs der Wellen gehoben, sondern es ist zu wiederholten Malen eingetreten, dafs schon aufs Trockene gesetzte Teile der Erde wieder überflutet wurden, sei es, dafs sie sich wieder senkten, sei es, dafs das Meer sich über sie erhob. Bemerkenswert ist aber, dafs diese wiederholten Einbrüche und Rückzüge keineswegs allmählich erfolgten. Im Gegenteil, die Mehrzahl der Katastrophen, welche dieselben herbeigeführt haben, erfolgten plötzlich, und zwar läfst sich dies am leichtesten bezüglich der letzten Katastrophe nachweisen. Diese hat nämlich im hohen Norden Leichen gewaltiger Vierfüfser zurückgelassen, welche vom Eise eingeschlossen wurden und bis auf unsere Tage mit Haut und Haar erhalten blieben. Wären das Einfrieren und ihr Tod nicht zur selben Zeit erfolgt, so würden sie der Zersetzung anheim gefallen sein. Andererseits herrschte dieser ewige Frost vorher nicht an den Orten, wo die Tiere von ihm ergriffen wurden, denn sie hätten unter solchen Temperaturverhältnissen nicht leben können. Es war also derselbe Augenblick, welcher den Tod dieser Tiere herbeiführte und das Land, welches sie bewohnten, mit Eis überzog. Dies mufs plötzlich und nicht etwa nach und nach eingetreten sein. Und was sich so offenbar für diese letzte Katastrophe darthun läfst, ist kaum weniger ersichtlich für die vorangegangenen. Die Zerreifsungen, Biegungen und Kippungen, welche die ältesten Schichten aufweisen, lassen keinen Zweifel darüber, dafs plötzliche

und heftig wirkende Ursachen die Schichten in den Zustand versetzt haben, in dem wir sie jetzt erblicken[1]).

Furchtbare Ereignisse haben also oft in die Lebewelt unseres Planeten eingegriffen. Zahllose Geschöpfe wurden das Opfer dieser Katastrophen. Die einen wurden als Bewohner des Festlandes von den Fluten verschlungen, die anderen, welche den Schofs des Meeres bewohnten, wurden aufs Trockne gesetzt gleichzeitig mit dem Meeresboden, der sich plötzlich erhob. Solche Arten wurden für immer vernichtet und hinterliefsen nur einige kaum dem Naturforscher erkennbare Überreste.

Das sind die Schlüsse, zu denen uns die Dinge führen, die wir auf Schritt und Tritt antreffen. Jene grofsen und schrecklichen Umwälzungen haben sich für ein Auge, welches die Geschichte aus ihren Denkmälern zu lesen versteht, überall eingeprägt. Was aber noch mehr in Erstaunen setzt und nicht weniger gewifs ist, das ist, dafs das Leben nicht immer auf der Erde vorhanden war, und dafs es dem Naturforscher leicht wird, den Punkt zu erkennen, seitdem es seine Erzeugnisse abzulagern begann.

Erheben wir uns zu den abschüssigen Gipfeln der grofsen Bergketten, so werden die fossilen Überreste des Meeres bald seltener und verschwinden endlich ganz; wir gelangen zu Schichten, welche nicht die geringsten Spuren lebender Wesen mehr enthalten. Indessen zeigen sie durch ihre krystallinische Zusammensetzung, sowie durch ihre Schichtung, dafs sie gleichfalls auf wässrigem Wege entstanden sind, während ihre Steilheit andeutet, dafs auch sie umgestürzt wurden. Ferner geht aus der Art, wie sie schräg unter die versteinerungsführenden Schichten einfallen, hervor, dafs sie früher als die letzteren gebildet wurden.

Eine solche Beschaffenheit weist das Primär- oder Urgebirge auf, welches unsere Kontinente nach verschiedenen Richtungen durchzieht, sich bis über die Wolken erhebt, die Stromgebiete scheidet und in seinem ewigen Schnee die Vorräte birgt, welche die Quellen der Ströme speisen. Aus grofser Entfernung erkennt das Auge an der Auszackung ihrer Kämme und an den steilen Gipfeln, welche alles andere überragen, die Anzeichen ihrer gewaltsamen Erhebung.

Trotz aller scheinbaren Unordnung ist einigen hervorragenden Naturforschern der Nachweis gelungen, dafs hierbei doch eine

---

[1]) Die heutige Geologie nimmt mit Lyell an, dafs diese Änderungen allmählich vor sich gingen und durch noch jetzt wirkende Ursachen veranlafst wurden. Siehe den folgenden Abschnitt dieses Buches.

gewisse Regel herrscht, und dafs diese gewaltigen Schichten, zerbrochen und aus ihrer Lage gebracht sie auch sind, eine gewi Reihenfolge innehalten, welche in allen grofsen Gebirgsketten dieselbe ist. Der Granit, sagen sie, aus dem die Mehrzahl di Ketten besteht, der Granit, welcher alles überragt, ist auch Gestein, das sich unter alle übrigen hinabsenkt; es ist das ält von allen, die uns zu sehen vergönnt ist. Sei es nun, dafs Granit seinen Ursprung einem alles bedeckenden Urmeere verda welches einst sämtliche Stoffe in Lösung hielt, sei es, dafs ei folge der Abkühlung einer glutflüssigen oder in Dampfform be lichen Masse als erste Erstarrungskruste auftrat. Blättrige Geste legen sich dem Granit seitlich an. Schiefer, Porphyre und S steine wechseln damit ab; endlich lagert sich krystallinisches anderes Kalkgestein ohne Versteinerungen über die Schiefer letzte Bildung, welche jenes unbekannte Gewässer, jenes Meer Bewohner, erzeugt hat. Über dieser Grundlage errichteten Weichtiere und die Pflanzentiere dann bald ihre gewaltigen häufungen aus Schalen oder Korallenkalk.

---

50. Lyell begründet die neuere Richtung Geologie. 1830.

Ch. Lyell. Prinzipien der Geologie[1].

[illegible]

[illegible]

[illegible]

die früheren Veränderungen der Erdoberfläche zurückgeführt werden müssen. Die ersten Beobachter glaubten, dafs die Denkmäler, welche der Geologe zu entziffern bemüht ist, einer Periode angehörten, in welcher die physikalische Beschaffenheit der Erde gänzlich von der heutigen verschieden gewesen sei. Auch nahm man an, es seien selbst nach dem Auftreten lebender Wesen Ursachen wirksam gewesen, nach Art und Umfang gänzlich verschieden von denen, welche in der Jetztzeit das Wirken der Natur ausmachen. Diese Ansichten haben sich allmählich geändert und sind zum Teil ganz aufgegeben, und zwar geschah dies in dem Mafse, wie die Beobachtungen zunahmen und die Anzeichen früherer Veränderungen besser gedeutet wurden. Manche Erscheinung, die lange als ein Zeichen geheimnisvoller und aufsergewöhnlicher Kräfte gegolten, wurde schliefslich in ihrer Abhängigkeit von denjenigen Gesetzen erkannt, welche noch jetzt die materielle Welt beherrschen. Die Entdeckung dieser unerwarteten Gleichartigkeit hat einige Geologen zu der Annahme geführt, dafs niemals eine Unterbrechung in dem Verlauf der physikalischen Begebenheiten eingetreten sei. Sie nehmen an, dafs dieselben Ursachen vermöge ihres verschiedenartigen Zusammenwirkens die endlose Mannigfaltigkeit der Wirkungen hervorgebracht haben, deren Spuren die Erdrinde aufbewahrt. Dieser Annahme entsprechend setzen sie ferner die Wiederkehr ähnlicher Veränderungen für zukünftige Zeiten voraus.

Ob man nun dieser Lehre zustimmt oder nicht, man wird zugeben müssen, dafs das allmähliche Platzgreifen einer besseren Beurteilung weit zurückliegender Ereignisse in auffälliger Weise einer wachsenden Einsicht in die Werkstatt der Natur parallel läuft. Auf einer früheren Stufe der Erkenntnis, als noch eine grofse Zahl von Erscheinungen für unbegreiflich galt, betrachtete man eine Sonnenfinsternis, ein Erdbeben, eine Überschwemmung oder das Herankommen eines Kometen, sowie viele andere Begebenheiten, von denen man später erkannte, dafs sie in den natürlichen Verlauf der Dinge hineinpassten, als ebensoviele Wunder. Derselben Täuschung gab man sich geistigen Vorgängen gegenüber hin, und viele derselben wurden der Einwirkung von Dämonen, Geistern, Hexen und anderer unkörperlichen und übernatürlichen Kräfte zugeschrieben. Nach und nach sind viele Rätsel auf geistigem und physischen Gebiete gelöst worden; anstatt sie übernatürlichen und an keine Regel gebundenen Ursachen zuzuschreiben, hat man sie als abhängig von festen unveränderlichen Gesetzen erkannt.

Der Forscher gelangt endlich zu der Überzeugung, dafs die wirkenden Ursachen immer dieselben bleiben. Von dem Vertrauen auf diesen Grundsatz geleitet, prüft er die Glaubwürdigkeit der Berichte, welche ihm über verflossene Begebenheiten zugehen, und verwirft in manchen Fällen die phantasiegeschmückten früheren Erzählungen, wenn sie mit der Erfahrung aufgeklärterer Zeiten unvereinbar erscheinen.

Da der Glaube an frühere Störungen des natürlichen Verlaufs der Dinge lange Zeit allgemein herrschend war, so verdient jeder Umstand, der die Geister beeinflufst und den Meinungen eine falsche Richtung gegeben haben könnte, unsere besondere Aufmerksamkeit. Für die ersten Förderer der Geologie war es unmöglich zu richtigen Folgerungen zu gelangen, weil sie über das Alter der Welt und den Zeitpunkt der ersten Erschaffung lebender Wesen ganz falsche Vorstellungen hatten. Wie phantastisch uns auch manche Ansichten des sechzehnten Jahrhunderts jetzt erscheinen mögen, wir dürfen versichert sein, wenn dieselben Vorurteile noch herrschend wären, so würden sie eine ähnliche Kette von Ungereimtheiten zur Folge haben. Stellen wir uns beispielsweise vor, die Gelehrten, welche sich augenblicklich mit der Erforschung der Altertümer Ägyptens befassen, wären mit dem festen Glauben in jenes Land gekommen, dafs die Ufer des Nils niemals vor dem Beginn des neunzehnten Jahrhunderts bewohnt gewesen wären. Zu welch ungereimten Ansichten würden sie gelangen, wenn sie unter dem Einflufs dieser Vorspiegelung sich den in Ägypten entdeckten Baudenkmälern gegenüber befänden. Der Anblick der Pyramiden, Obelisken, Kolossalstatuen und Tempelruinen würde sie so sehr in Erstaunen setzen, dafs sie ganz unfähig sein würden, einen vernünftigen Gedanken zu fassen. Sie würden im ersten Augenblicke die Errichtung solch staunenswerter Bauten übernatürlichen Kräften zuschreiben.

Wir haben aber hiermit nur eins der vielen Vorurteile kennen gelernt, mit welchen die älteren Geologen zu kämpfen hatten. Selbst wenn sie zugaben, dafs die Erde früher als zuerst angenommen, mit lebenden Wesen bevölkert gewesen sei, so hatten sie doch keine Vorstellung davon, dafs der verflossene Zeitraum so unermefslich grofs im Verhältnis zur historischen Ära ist, wie jetzt allgemein zugegeben wird. Angenommen wir könnten mit einem Blicke alle in Island, Italien, Sicilien und anderen Teilen Europas während der letzten 5000 Jahre entstandenen vulkanischen Kegel und sämtliche in diesem Zeitraum ausgeflossenen Lavaströme über-

schauen, sowie die durch Erdbeben veranlafsten Verwerfungen, Senkungen und Hebungen, die den verschiedenen Deltas hinzugefügten Landmassen, wie auch diejenigen, welche das Meer verschlang. Wenn wir uns dann vorstellten, alle diese Begebenheiten hätten innerhalb des Zeitraumes eines einzigen Jahres stattgefunden, so würden wir ganz andere Vorstellungen von der Wirksamkeit der Kräfte und dem katastrophenartigen Charakter der Umwälzungen bekommen. Falls eine gleiche Summe von Veränderungen sich im nächsten Jahre abspielte, würden wir uns dann wohl der Vorstellung verschliefsen können, dafs eine grofse Krisis hereingebrochen sei. Wenn daher die Geologen die Anzeichen einer Folge von Ereignissen mifsdeuteten, weil sie auf Jahrhunderte schlossen, wo Jahrtausende angezeigt sind und auf Jahrtausende, wo die Sprache der Natur auf Jahrmillionen hindeutet, so konnten sie, wenn sie logisch von solchen falschen Voraussetzungen weiter gingen, zu keinem anderen Schlufs gelangen, als dafs mit der Weltordnung eine völlige Revolution vor sich gegangen sei. Wir würden berechtigt sein, die Errichtung der gewaltigen Pyramiden einer übernatürlichen Kraft zuzuschreiben, wenn wir überzeugt wären, dafs sie in einem Tage erbaut worden seien. Würden wir uns in gleicher Weise vorstellen, dafs eine Bergkette innerhalb eines kleinen Bruchteils derjenigen Zeit empor gehoben wäre, welche ihre Erhebung in Wirklichkeit beansprucht hat, so würden wir zu der Annahme berechtigt sein, dafs die unterirdischen Bewegungen einst viel energischer gewesen seien als jetzt. Wir wissen, dafs ein Erdbeben die Küste Chilis auf hundert Meilen Erstreckung um durchschnittlich fünf Fufs emporzuheben vermag. Eine Folge von zweitausend gleich heftigen Stöfsen könnte also ein Gebirge von hundert Meilen Länge und zehntausend Fufs Höhe entstehen lassen. Würde nun nur einer von diesen Stöfsen im Verlaufe eines Jahrhunderts erfolgen, so würde dies der Ordnung der Dinge, wie sie den Chilenen seit den ältesten Zeiten bekannt ist, entsprechen. Sollten aber alle Stöfse in den nächsten hundert Jahren vor sich gehen, so würde das gesamte Land seiner Bevölkerung beraubt werden, kaum ein Geschöpf oder eine Pflanze bliebe am Leben, und die Oberfläche würde nur einen verworrenen Haufen von Ruinen und anderen Werken der Zerstörung aufweisen.

Die bis jetzt betrachteten Vorurteile können zum gröfsten Teile dem noch unentwickelten Zustande der Wissenschaft zugeschrieben werden. Es giebt aber andere, welche wir mit den ersten geologischen Forschern teilen, und die uns gleichfalls in dem Glauben

bestärken, dafs der Verlauf der Naturvorgänge in früheren Zeitaltern sehr verschieden von dem jetzigen gewesen sei.

Die erste und gröfste Schwierigkeit besteht darin, dafs wir uns gewöhnlich nicht unsere sehr ungünstige Stellung vergegenwärtigen, wenn es gilt die Gröfse der jetzt stattfindenden Veränderungen zu ermessen. Wir bewohnen etwa ein Viertel der Erdoberfläche, und dieser Teil ist fast ausschliefslich der Schauplatz des Zerfalls und nicht derjenige des Aufbaus. Wir wissen, dafs neue Ablagerungen alle Jahre in Meeren und Seeen gebildet werden, und dafs in jedem Jahre neue Felsmassen in der Tiefe der Erde ihren feurig-flüssigen Ursprung nehmen. Wir sind aber nicht imstande, diese Vorgänge zu verfolgen. Da wir also nur infolge unserer Überlegung von ihnen wissen, so setzt es einen Aufwand von Scharfsinn und Einbildungskraft voraus, wenn wir ihre Bedeutung richtig abschätzen wollen. Es ist daher nicht überraschend, dafs dieses Abschätzen der Ergebnisse von Vorgängen, die wir nicht anschauen können, nur unvollkommen ist. Werden dann derartige Ergebnisse früherer Perioden unseren Blicken zugänglich, so erkennen wir die Ähnlichkeit nicht. Der Geologe befindet sich in derselben Lage wie jemand, der Steine brechen und sie nach einem fernen Hafen verfrachten sieht, und sich nun abmüht zu begreifen, was für ein Gebäude aus diesen Steinen hergerichtet werden wird. Während nämlich der Geologe auf das Land beschränkt ist und die Abtragung der Gebirge sowie ihren Transport nach dem Meere beobachtet, versucht er sich die neuen Ablagerungen auszumalen, welche die Natur am Grunde der Gewässer aufbaut.

Nicht weniger ungünstig ist seine Stellung einem vulkanischen Ausbruche gegenüber, wenn der Geologe zu begreifen sucht, was für Veränderungen die Lavasäule während ihres Emporsteigens in den durchbrochenen Schichten bewirkt hat, oder welche Form die geschmolzene Masse annehmen mag, wenn sie in der Tiefe erstarrt, ferner welche Ausdehnung unterirdische Ströme und die Behälter flüssiger Materie tief unter der Oberfläche haben mögen.

Vor mehr als zwei Jahrhunderten veranlafsten die Muscheln führenden Schichten der apenninischen Gebirge die ältesten italienischen Geologen zu ihren Spekulationen; und wenige von ihnen hatten die geringste Ahnung davon, dafs ähnliche Ablagerungen sich in dem benachbarten Meere noch immerfort bildeten. Einige gelangten, anstatt zu natürlichen Ursachen ihre Zuflucht zu nehmen, zu der Annahme, diese an organischen Überresten so reichen Schichten seien im Anbeginn der Dinge durch das Werde

des Allmächtigen geschaffen worden; andere wieder schrieben die eingeschlossenen Fossilien einer gewissen bildenden Kraft zu, welche in früheren Weltaltern ihren Sitz im Innern der Erde gehabt habe. Endlich erforschte man den Boden des Adriatischen Meeres und fand die weitgehendste Ähnlichkeit zwischen den neuen Ablagerungen, die sich dort bilden, und denjenigen, welche Hügel von über tausend Fufs Höhe in verschiedenen Teilen der Halbinsel zusammensetzen.

Wir wollen jetzt kurz die mannigfachen, früher für unüberwindlich gehaltenen Schwierigkeiten angeben, die in den letzten vierzig Jahren teilweise oder gänzlich durch den Fortschritt der Wissenschaft beseitigt worden sind.

In erster Linie müssen diejenigen, welche die Lehre von der Gleichartigkeit der früheren mit den jetzigen Naturvorgängen verteidigen, unermefsliche Zeiträume als zugestanden annehmen, um die Bildung der sedimentären Schichten aus noch heute wirkenden Ursachen zu erklären. Unbefangenen Köpfen mufs es immer eingeleuchtet haben, dafs eine Folge von Schichten, die in regelmäfsiger Anordnung deutliche Lagen von Muscheln und Korallen aufweisen, nur allmählich durch unmerklichen Zuwachs im Verlaufe gewaltiger Zeiträume gebildet werden konnte. Bevor jedoch die organischen Überreste genau untersucht und ihre Arten bestimmt worden, war es kaum möglich zu beweisen, dafs die in einem Lande angetroffene Reihe von Ablagerungen nicht immer gleichzeitig mit der in einem anderen Lande gefundenen gebildet wurde. Jetzt sind wir jedoch in der Lage, in zahlreichen Fällen das relative Alter von sedimentären Schichten weit von einander entfernter Gegenden zu bestimmen und aus den organischen Einschlüssen zu beweisen, dafs sie nicht gleichzeitigen Ursprungs sondern nach einander entstanden sind. Oft finden wir, dafs, wenn irgendwo eine Unterbrechung durch plötzlichen Übergang von einer Fauna fossiler Arten zu einer anderen hervortritt, diese Lücke an einem anderen Orte durch andere wichtige Schichten ausgefüllt wird. Ein Geologe, dessen Beobachtungen auf England beschränkt geblieben sind, gewöhnt sich daran, die oberen jüngeren Gruppen von Meeresablagerungen unseres Inselreichs als neu anzusehen. Das sind sie zwar auch, vergleichungsweise gesprochen. Hat er jedoch die italienische Halbinsel und Sicilien bereist und dort noch jüngere Schichten Gebirge von mehreren tausend Fufs Höhe bilden sehen, sowie eine lange Reihe vulkanischer Veränderungen beobachtet, die sämtlich jünger sind als irgend eine der regelmäfsigen Schichten, welche

sich in bedeutenderem Umfang an dem Aufbau des Grofsbritannischen Bodens beteiligen, so kehrt er mit ganz anderen Vorstellungen über das Alter dieser neueren Ablagerungen zurück, als er sie vorher von den ältesten Schichten Englands besafs.

Eine genauere Untersuchung der erloschenen Vulkane zeigt uns, dafs sie zu verschiedenen Zeiten thätig gewesen, und dafs die Ausbrüche der einen Vulkangruppe oft beendet waren, lange bevor eine andere ihre Arbeit begann. Die einen waren thätig zur Zeit, als die eine Reihe organischer Wesen existierte, der Ausbruch anderer begann, während Pflanzen und Tiere lebten, die von ersteren verschieden waren. Man mufs deshalb annehmen, dafs die durch unterirdische Bewegungsvorgänge verursachten Erschütterungen der Erdrinde, welche eine zweite Gruppe vulkanischer Erscheinungen darstellen, ebenfalls auf einander folgten, und dafs man ihre Gesamtwirkung in eine, längere Zeit beanspruchende Summe von Einzelwirkungen zu zerlegen hat. Ja, wenn wir die Erzeugnisse vulkanischer Thätigkeit genauer untersuchen, seien es nun Lavaströme, die sich unter Wasser gebildet haben, oder solche, die auf dem trockenen Lande geflossen sind, so finden wir, dafs Zeiträume von häufig bedeutender Länge ihre Bildung unterbrachen, und dafs die Folgen eines einzigen Ausbruchs nicht gröfser waren als diejenigen, welche jetzt während vulkanischer Ausbrüche zu Tage treten. Man mufs daher auch die gleichzeitig oder später erfolgten Erdbeben als ein Nacheinander von Ereignissen betrachten, die ebenfalls in längeren Zwischenräumen stattfanden und an Heftigkeit unsere heutigen Erdbeben, welche in den gewohnten Rahmen der Natur hinein gehören, nicht übertrafen. Aus demselben Grunde müssen wir auch die Lehre von der plötzlichen Erhebung ganzer Kontinente als hinfällig betrachten. Es war gegen alle Analogie, anzunehmen, die Natur sei in einer früheren Epoche sparsam mit der Zeit aber von wunderbarer Heftigkeit gewesen, die zerstörenden Kräfte seien nicht im Zaum gehalten worden, sondern hätten plötzlich Tod und Verderben über die ganze Erde oder wenigstens über einen grofsen Teil derselben gespieen.

Das Vorhandensein ungeheurer Süfswasserbecken, wie die Nordamerikanischen Seeen, von denen der gröfste mehr als 600 Fufs über dem Spiegel des Meeres gelegen uud stellenweise 1200 Fufs tief ist, genügt allein, um uns zu überzeugen, dafs zu irgend einer, wenn auch entfernten Zeit eine Überschwemmung einen beträchtlichen Teil des Amerikanischen Kontinents verwüsten wird. Es ist keine unbekannte Kraft erforderlich, den plötzlichen Ausbruch der einge-

schlossenen Wassermengen zu veranlassen. Änderungen des Niveaus und das Auftreten von Spalten, wie sie die Erdbeben seit Beginn unseres Jahrhunderts begleitet haben, oder die Aushöhlung eines Grabens, wie sie der rückwärtsschreitende Niagarafall bewirkt, sind imstande die Hindernisse hinwegzuräumen. Wenn uns daher auch für die letzten drei Jahrtausende die Verwüstung eines grofsen Kontinents durch Überflutung nicht bezeugt wird, so dürfen wir doch, da wir das zukünftige Eintreffen derartiger Katastrophen vorherzusagen vermögen, letztere als der gegenwärtigen Ordnung der Natur gemäfs betrachten und sie in geologische Betrachtungen über vergangene Perioden einführen, vorausgesetzt dafs wir nicht annehmen, sie seien damals häufiger und allgemeiner gewesen.

Der grofse Gegensatz in dem Aussehen der älteren und der neueren Gebirgsarten, in ihrem Gefüge, ihrer Zusammensetzung und dem Grade der Schichtenstörung schien früher einer der stärksten Gründe für die Annahme zu sein, dafs die Ursachen, denen die älteren Gesteine ihr Dasein verdanken, gänzlich verschieden von den jetzt wirkenden Ursachen gewesen seien. Dieser Mangel an Übereinstimmung kann jedoch als die natürliche Folge späterer Veränderungen betrachtet werden, seitdem man den ungeheuren Unterschied im Alter der Schichten nachgewiesen hat. Mag auch die Umwandlung langsam oder fast unmerklich vor sich gegangen sein, sie mufs doch im Verlauf solch ungemessener Zeiträume einen bedeutenden Grad erreicht haben. Aufser der vulkanischen Hitze haben dabei mechanischer Druck, chemische Verwandtschaft, das Eindringen von Minerallösungen und Gasen und vielleicht auch die Thätigkeit mancher anderen weniger bekannten Kräfte, wie Elektricität und Magnetismus, mitgewirkt.

Was die Anzeichen von Hebung und Senkung, Bruch und Biegung der Gebirgsmassen anbelangt, so leuchtet ein, dafs jüngere Schichten nicht durch Erdbeben erschüttert werden konnten, ohne dafs die darunterliegende Gesteinsmasse in Mitleidenschaft gezogen wurde. Der Gegensatz in dem relativen Grad der Störung der älteren gegenüber den neueren Schichten ist daher einer der vielen Beweise, dafs die Erschütterungen zu verschiedenen Zeiten stattgefunden haben. Diese Erscheinung bestätigt also gerade die Gleichartigkeit der vulkanischen Kräfte anstatt ihre gröfsere Heftigkeit in früheren Zeitaltern zu beweisen.

51. Die Entdeckung des Elektromagnetismus. 1820.

Oersted, Versuche über die Wirkung des elektrischen Stromes auf die Magnetnadel[1]).

Oersted wurde 1777 in Dänemark geboren und bekleidete seit 1817 die Professur für Physik in Kopenhagen, wo er im Jahre 1851 starb. Ihm gelang es zuerst, die schon von Aepinus vermutete (Siehe Abschnitt 33) und später von Faraday (Siehe Abschnitt 52) weiter verfolgte enge Beziehung zwischen der Elektricität und dem Magnetismus nachzuweisen, wie aus der hier mitgeteilten wichtigen Abhandlung Oersteds hervorgeht.

Die ersten Versuche über den Gegenstand, den ich aufzuklären unternehme, sind in den Vorlesungen angestellt worden, welche ich im verflossenen Winter über Elektricität und Magnetismus gehalten habe. Aus diesen Versuchen schien zu erhellen, dafs die Magnetnadel sich mittelst des galvanischen Apparats aus ihrer Lage bringen lasse, und zwar bei geschlossenem galvanischen Kreise. Da aber diese Versuche mit einem wenig kräftigen Apparate angestellt wurden, so unternahm ich es, dieselben mittelst eines grofsen galvanischen Apparats zu wiederholen und zu vervollständigen.

Derselbe besteht aus 20 kupfernen Zellen, die jede 12 Zoll lang, 12 Zoll hoch, $2^1/_2$ Zoll breit und mit zwei Kupferstreifen versehen sind, welche den Kupferstab tragen, der die in der Flüssigkeit der benachbarten Zelle schwebende Zinkplatte hält. Das Wasser, womit die Zellen angefüllt wurden, war mit $^1/_{60}$ seines Gewichtes Schwefelsäure und mit ebensoviel Salpetersäure versetzt, und der eingetauchte Teil jeder Zinkplatte war ein Quadrat von 10 Zoll Seitenlänge. Doch können auch kleinere Apparate gebraucht werden, wenn sie nur einen Draht zum Glühen zu bringen vermögen.

---

[1]) Ostwalds Klassiker der exakten Wissenschaften Nr. 63. Herausgegeben von J. A. v. Oettingen. Leipzig, Verlag von Wilh. Engelmann 1895.

Die Abhandlung H. C. Oersteds erschien im Jahre 1820 unter dem Titel „Experimenta circa effectum conflictus electrici in acum magneticam. Sie wurde von Gilbert übersetzt und in seinen Annalen (Bd. LXVI) veröffentlicht. Diese Übersetzung wurde mit geringen stilistischen Änderungen und wesentlich gekürzt hier zu Grunde gelegt.

Man denke sich die beiden entgegengesetzten Enden des galvanischen Apparats durch einen Metalldraht verbunden. Diesen werde ich der Kürze halber stets den Leiter nennen.

Man bringe ein geradliniges Stück dieses Leiters in horizontaler Lage über eine gewöhnliche Magnetnadel, sodafs es der Nadel parallel ist. Die Magnetnadel wird dann in Bewegung kommen, und zwar wird sie unter dem vom negativen Pole des galvanischen Apparates herkommenden Teile des Leiters nach Westen abweichen[1]). Ist die Entfernung des Drahtes von der Magnetnadel nicht mehr als 5/4 Zoll, so beträgt diese Abweichung ungefähr 45°. Bei gröfserer Entfernung nehmen die Abweichungs-Winkel ab. Übrigens ist die Abweichung verschieden je nach der Stärke des Apparates.

Der Leiter kann nach Osten oder nach Westen bewegt werden, wenn er nur immer der Nadel parallel bleibt, ohne dafs dieses einen anderen Einflufs auf den Erfolg hat, als dafs die Abweichung kleiner wird.

Der Leiter kann aus mehreren vereinigten Drähten oder Metallstreifen bestehen. Die Natur des Metalles verändert den Erfolg nicht, es sei denn vielleicht hinsichtlich der Gröfse. Wir haben Drähte aus Platin, Gold, Silber, Messing und Eisen, ferner Zinn- und Blei-Streifen, sowie Quecksilber mit gleichem Erfolge gebraucht. Wird der Leiter durch Wasser unterbrochen, so bleibt nicht jede Wirkung aus, es sei denn, die Wasserstrecke sei mehrere Zoll lang.

Der Leiter wirkt auf die Magnetnadel durch Glas, Metalle, Holz, Wasser und Harz, durch thönerne Gefäfse und durch Steine hindurch; denn als wir zwischen den Leiter und die Nadel eine Glastafel, eine Metallplatte oder ein Brett gebracht hatten, blieb der Erfolg nicht aus; ja selbst alle drei vereinigt schienen die Wirkung kaum zu schwächen, ebensowenig ein irdenes Gefäfs, selbst wenn es voll Wasser war. Unsere Versuche haben auch gezeigt, dafs die erwähnten Wirkungen nicht verändert werden, wenn man eine Magnetnadel nimmt, die sich in einer mit Wasser gefüllten Messingbüchse befindet.

Wenn der Leiter in einer horizontalen Ebene unter der Magnetnadel angebracht ist, so gehen alle angegebenen Wirkungen

---

[1]) D. h. wenn der Nordpol der Nadel zum negativen Pole des galvanischen Apparates zeigt und die Nadel sich gleichzeitig unter dem Draht befindet, weicht ihr Nordpol nach Westen ab.

nach entgegengesetzter Richtung vor sich, als wenn er in einer über derselben befindlichen horizontalen Ebene sich befindet, sonst aber auf ganz gleiche Weise.

Dreht man den Leiter in der horizontalen Ebene, sodafs er allmählich immer gröfsere Winkel mit dem magnetischen Meridian macht, so wird die Abweichung der Magnetnadel vom magnetischen Meridian vermehrt, wenn das Drehen des Drahtes dem Orte der Magnetnadel zu gerichtet ist; sie nimmt dagegen ab, wenn das Drehen von diesem Orte fort erfolgt[1]).

Eine Nadel aus Messing, welche nach Art der Magnetnadel aufgehängt ist, kommt durch die Wirkung des Leiters nicht in Bewegung. Auch eine Nadel aus Glas oder Gummi bleibt bei ähnlichen Versuchen in Ruhe.

Der elektrische Leiter vermag also nur auf die magnetischen Teile der Materie zu wirken.

Dafs der elektrische Strom nicht in dem leitenden Drahte eingeschlossen, sondern zugleich in dem umgebenden Raume ziemlich weithin verbreitet ist, ergiebt sich aus den angeführten Beobachtungen hinlänglich.

---

52. Die Entdeckung der galvanischen und der magnetischen Induktion. 1832.

Faraday's Experimentaluntersuchungen über Elektricität[2]).

Michael Faraday wurde am 22. September 1791 in der Nähe von London als Sohn eines Hufschmieds geboren. Durch Talent und Fleifs brachte er es in kurzer Zeit vom Buchbindergehülfen zum Mitglied der Royal Society. Zahlreiche chemische und physikalische Entdeckungen sind ihm zu verdanken; durch seine glänzenden

---

1) Auf diesem Prinzipe beruht die zur Messung der Stromstärke dienende Sinusboussole, bei welcher man den Leiter so lange dreht, bis er mit der Nadel wieder in eine Ebene fällt. Die Stromstärke ist dann proportional dem Sinus des Ablenkungswinkels.

2) Philosophical Transactions f. 1832, Teil I, S. 125. Hier wurde die in Poggendorffs Annalen der Physik und Chemie, Bd. XXV, S. 91 u. f. gegebene Übersetzung zu Grunde gelegt. Dieselbe wurde auf Grund einer Vergleichung mit der Originalabhandlung kleineren den Ausdruck betreffenden Abänderungen unterzogen.

Untersuchungen über die Elektricität, denen nachfolgender Abschnitt entnommen ist, hat er die neuere Elektricitätslehre begründet. Faraday starb am 25. August 1867, nachdem er sich einige Jahre zuvor auf ein ihm von seiner Königin geschenktes Besitztum zurückgezogen hatte.

I. Galvanische Induktion.

Ein Kupferdraht von mehreren hundert Fufs Länge wurde um eine grofse Walze von Holz gewickelt und zwischen seinen Windungen, indes durch Zwirnsfäden an jeder unmittelbaren Berührung gehindert, ein zweiter ähnlicher Draht von gleicher Länge angebracht. Der eine dieser Schraubendrähte wurde mit dem Galvanometer, der andere mit einer Batterie von hundert Plattenpaaren verbunden. Im Augenblicke der Verbindung des Drahtes mit der Batterie war eine plötzliche aber sehr geringe Wirkung auf das Galvanometer sichtbar, und eine ähnliche schwache Wirkung zeigte sich, als diese Verbindung aufgehoben wurde. Solange indes der elektrische Strom fortfuhr durch den einen Schraubendraht zu gehen, konnte keine Spur irgend einer Wirkung bemerkt werden, obschon die Batterie sehr kräftig war, wie aus der Erhitzung des ganzen Schraubendrahtes und aus den glänzenden Funken bei der Entladung mittelst Kohlenspitzen hervorging.

Die Wiederholung dieses Versuches mit einer Batterie von 120 Plattenpaaren gab keine anderen Resultate. Allein es zeigte sich hier wie schon früher, dafs die Ablenkung der Nadel im Augenblick des Schliefsens von entgegengesetzter Richtung ist, wie die ähnliche schwache Ablenkung beim Öffnen der Kette.

Die Ergebnisse, welche ich späterhin mit Magneten erhielt, haben mich zu der Ansicht geführt, dafs der Volta'sche Strom, der durch den einen Draht geht, wirklich in dem zweiten Draht einen ähnlichen Strom erregt, der aber nur von augenblicklicher Dauer ist und seiner Natur nach mehr Ähnlichkeit hat mit der elektrischen Welle, die beim Entladen einer Leydener Flasche auftritt, als mit dem Strom einer Volta'schen Batterie; deshalb vermutete ich auch, dafs jener Strom, obgleich er kaum auf das Galvanometer wirkt, dennoch Stahlnadeln zu magnetisieren vermöge.

Diese Vermutung bestätigte sich. Als nämlich anstatt des Galvanometers ein um eine Glasröhre gewundener kleiner Schraubendraht genommen, in die Glasröhre eine Stahlnadel gesteckt, darauf der induzierende Draht wie früher mit der Batterie verbunden und

nun, vor der Aufhebung dieser Verbindung, die Nadel fortgezogen ward, erwies sie sich magnetisch.

Wurde die Verbindung mit der Batterie zuerst vollzogen, dann eine unmagnetisierte Nadel in den kleinen Schraubendraht gesteckt, und nun die Verbindung wieder aufgehoben, so hatte die Nadel einen, wie es schien, ebenso starken Magnetismus wie zuvor erhalten, aber ihre Pole lagen jetzt umgekehrt.

Als die unmagnetisierte Nadel vor dem Verbinden des induzierenden Drahtes mit der Batterie in den kleinen Schraubendraht gesteckt, und bis nach der Aufhebung jener Verbindung darin gelassen wurde, besafs sie wenig oder keinen Magnetismus, da die erste Wirkung durch die zweite fast vernichtet worden war.

Bei den vorhergehenden Versuchen waren die Drähte nahe bei einander befestigt, und wenn man die Wirkung haben wollte, wurde der induzierende Draht mit der Batterie in Verbindung gesetzt. Jetzt wurde die Induktion auf einem anderen Wege bewerkstelligt. Ein Kupferdraht wurde in weiten Zickzack-Windungen ähnlich einem W auf der einen Seite eines Brettes ausgespannt und ebenso ein zweiter Draht auf einem anderen Brette befestigt; ferner wurde der eine dieser Drähte mit dem Galvanometer und der andere mit der Volta'schen Batterie verbunden. Als nun das erste Brett mit seinem Drahte dem zweiten rasch genähert wurde, wich die Nadel ab, ebenso auch beim Wegziehen, indes nach der entgegengesetzten Seite. Geschah das Nähern und Entfernen der Bretter in Übereinstimmung mit den Schwingungen der Magnetnadel, so wurden diese sehr grofs; hörte man aber mit dem Hin- und Herführen des Drahtes auf, so kehrte die Nadel auch bald in ihre gewöhnliche Lage zurück.

Bei gegenseitiger Annäherung der Drähte war der induzierte Strom von entgegengesetzter Richtung mit dem induzierenden Strom. Bei der Entfernung der Drähte voneinander hatten beide Ströme dagegen gleiche Richtung. Blieben die Drähte in unverändertem Abstande zu einander, so war auch kein induzierter Strom vorhanden.

II. Elektricitätserregung durch Magnetismus (Magnetinduktion).

Aus einer runden Stange weichen Eisens von $^7/_8$ Zoll Dicke wurde ein Ring von sechs Zoll äufserem Durchmesser geschmiedet.

Ein neun Zoll langes Stück dieses Ringes wurde mit drei Kupferdrähten, jeder von 24 Fufs Länge und $^1/_{20}$ Zoll Dicke, umwickelt, sodafs die Drahtlagen unter sich und von dem Eisen isoliert waren. Das System dieser Drähte, die einzeln wie verbunden angewandt werden konnten, ist in Fig. 43 mit A bezeichnet. B bedeutet ein zweites, in gleicher Richtung wie A gewickeltes System von Drahtwindungen, an beiden Enden von A durch eine unbedeckte Strecke Eisen von einem halben Zoll Länge geschieden.

Die Spirale B wurde durch Kupferdrähte mit einem drei Fufs vom Ringe entfernten Galvanometer verbunden, und die Drähte A, mit ihren Enden zu einem einzigen Schraubendraht verknüpft, mit einer Batterie von 10 Plattenpaaren in Verbindung gesetzt. Augenblicklich zeigte sich eine Wirkung auf das Galvanometer, und zwar eine bei weitem stärkere als zuvor, als eine zehnmal kräftigere Batterie ohne Mitwirkung von Eisen angewandt wurde. Allein obgleich die Batterie geschlossen blieb, war die Wirkung doch nicht dauernd; bald kehrte die Nadel in ihre natürliche Lage zurück. Beim Öffnen der Kette wurde die Nadel indes wieder mächtig abgelenkt, und zwar nach entgegengesetzter Seite wie zuvor.

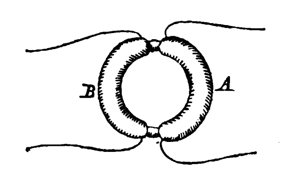


Fig. 43. Versuch über galvanische Induktion.
Aus Faradays Abhandlung (Poggendorffs Annalen, Bd. 25. Taf. III, Fig. 1).

Die Ablenkung beim Schliefsen zeigte immer einen induzierten Strom an, der dem der Batterie entgegengesetzt gerichtet war; beim Öffnen der Kette hatte dagegen der induzierte Strom immer die gleiche Richtung mit dem der Batterie.

Es wurde nun eine derartige Einrichtung getroffen, dafs sich die früheren Versuche über Induktion durch Volta'sche Ströme mit den soeben beschriebenen verknüpfen liefsen. Zu dem Ende wurde ein hohler Papp-Cylinder mit acht isolierten Schraubendrähten umwickelt; vier derselben wurden, Ende an Ende geknüpft, mit dem Galvanometer verbunden, die vier dazwischen befindlichen aber, nachdem sie ebenfalls mit ihren Enden vereint waren, zur Schliefsung der Batterie von 100 Plattenpaaren benutzt. Mit dieser Vorrichtung war die Wirkung auf das Galvanometer kaum merklich, doch konnten mit dem induzierten Strom Stahlnadeln magnetisiert werden. Als aber ein $^7/_8$ Zoll dicker und 12 Zoll langer Cylinder von weichem Eisen in die mit den Schraubendrähten umwickelte Pappröhre gesteckt wurde, wirkte der induzierte Strom mächtig und mit all den schon beschriebenen Er-

scheinungen auf das Galvanometer ein, auch besafs er das Vermögen, Stahl zu magnetisieren, augenscheinlich in noch höherem Grade, als wenn kein Eisencylinder zugegen gewesen wäre.

Wurde statt des Eisenstabes ein gleicher Stab von Kupfer genommen, so war keine Wirkung da, die nicht schon die Schraubendrähte für sich ausgeübt hätten.

Ähnliche Wirkungen wurden auch nun durch gewöhnliche Magnetstäbe hervorgebracht. Es wurden nämlich die auf der Papprröhre befindlichen Schraubendrähte, nachdem sie zu einem einzigen Draht verknüpft waren, durch zwei Kupferdrähte von fünf Fufs Länge mit dem Galvanometer verbunden, alsdann wurde in die Achse der Röhre ein Cylinder von weichem Eisen gesteckt und nun zwei Magnetstäbe, von denen jeder 24 Zoll lang war, mit den entgegengesetzten Polen verbunden und mit den anderen beiden Polen auf die Enden des Eisencylinders gelegt, sodafs dieser zu einem Magneten werden mufste. Siehe Fig. 44.

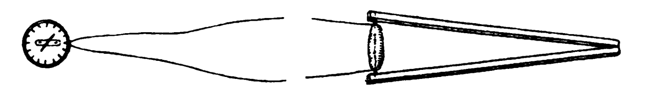


Fig. 44. Elektricitätserregung durch Magnetismus.
Aus Faradays Abhandlung (Poggendorffs Annalen. Bd. 25, Taf. III, Fig. 2).

Durch Fortnahme oder Umkehrung der Magnetstäbe konnte der Magnetismus des Eisencylinders nach Belieben aufgehoben oder umgekehrt werden. Bei dem Auflegen der Magnetstäbe auf den Eisencylinder wich die Nadel ab, bei fortdauernder Berührung desselben aber kehrte sie in ihre anfängliche Lage zurück; bei der Aufhebung des Kontakts wurde sie abermals abgelenkt, aber nach entgegengesetzter Seite wie zuvor, und dann nahm sie wieder die ursprüngliche Lage an.

Da man vielleicht glauben könnte, dafs der in den vorhergehenden Versuchen erregte momentane Strom durch eine besondere, bei der Entstehung des Magneten stattfindende Wirkung, und nicht durch die blofse Annäherung hervorgebracht worden sei, so wurde der folgende Versuch angestellt. Die Schraubendrähte wurden in leitende Verbindung gesetzt, und die so entstandenen zwei Hauptenden mit dem Galvanometer verknüpft. Der weiche Eisenstab wurde entfernt und statt dessen ein cylindrischer Magnetstab von $^3/_4$ Zoll Durchmesser und $8^1/_2$ Zoll Länge angewandt. Dieser Magnet wurde in die Achse des Schraubendrahtes eingestellt, und, nachdem die Galvanometer-Nadel zur Ruhe gekommen war, plötzlich

hineingeschoben. Augenblicklich wich die Nadel ab, und zwar in gleicher Richtung, als wenn der Magnet durch eins der vorhergehenden Verfahren erst gebildet worden wäre. Blieb der Magnet darin, so nahm die Nadel wiederum ihre erste Stellung an, wurde er herausgezogen, so wich sie nach entgegengesetzter Richtung ab. Die Ablenkungen waren nicht grofs, indes konnte die Nadel durch ein in Übereinstimmung mit ihren Bewegungen wiederholtes Hineinstecken und Herausziehen des Magneten zuletzt zu Schwingungen von 180° gebracht werden.

---

53. Die Erfindung der Photographie.

Talbot. Über ein Verfahren, mit Hilfe des Lichtes zu zeichnen. 1835 [1]).

Die Photographie hat sich aus den bescheidensten Anfängen zu einem wichtigen Mittel der Kultur und wissenschaftlichen Forschung entwickelt. Ihr Erfinder ist Nièpce, der in Gemeinschaft mit Daguerre photographische Bilder auf Silberplatten erzeugte und diese 1827 der Royal Society vorlegte. Talbot erfand um das Jahr 1835 die Papierphotographie. Seine hierauf bezügliche Abhandlung, welcher nachfolgende Abschnitte entnommen sind, wurde in der Royal-Society am 31. Januar 1839 gelesen. Näheres über die Entwicklung der Photographie siehe Bd. II d. Grdr.

Im Frühjahre des Jahres 1834 begann ich ein Verfahren auszuarbeiten, welches ich mir einige Zeit vorher ausgedacht hatte. Dasselbe bestand in der praktischen Verwertung einer den Chemikern seit langer Zeit bekannten merkwürdigen Eigenschaft des salpetersauren Silbers, der Eigenschaft nämlich, den violetten Lichtstrahlen ausgesetzt seine Farbe zu ändern. Dieses Verhalten schien mir in folgender Weise praktisch verwertbar zu sein.

Überzieht man einen Bogen Papier mit einer hinreichenden Menge Silbernitrat und setzt denselben dem Sonnenschein aus nachdem man einen Gegenstand vor dem Papier angebracht hat, der einen scharf begrenzten Schatten wirft, so wird das Licht auf das übrige Papier wirken und dasselbe schwärzen, während die im

---

[1]) Aus „Some account of the art of photogenic drawing by Henry Fox Talbot. London 1839", übersetzt von Friedrich Dannemann.

Schatten befindlichen Teile weifs bleiben. Ich erwartete, dafs sich auf diese Weise ein Bild erzeugen liefse, das eine gewisse Ähnlichkeit mit dem Gegenstande zeigen würde, von dem es herrührt. Indessen machte ich mich auch auf die Notwendigkeit gefafst. derartige Bilder in der Brieftasche aufbewahren zu müssen, und sie nur bei Kerzenlicht betrachten zu können, da im Tageslichte derselbe Vorgang, der die Bilder hervorgerufen, sie auch infolge der Schwärzung des übrigen Papiers zerstört haben würde. Dies war mein leitender Gedanke, bevor derselbe durch die Erfahrung bereichert und in die richtigen Bahnen gelenkt wurde.

Die ersten Gegenstände, welche ich auf diese Weise abzubilden suchte, waren Blumen und Blätter. Ich wählte dieselben teils in frischem Zustande, teils entnahm ich sie meinem Herbarium. Diese Gegenstände werden scharf und getreu wiedergegeben bis auf das Geäder der Blätter und die feinen Haare, welche die Pflanzen bekleiden.

Als ich mich zuerst mit diesen Versuchen befafste und bemerkte, wie reizend die Bilder ausfielen, welche auf diese Art durch die Einwirkung des Lichtes erhalten wurden, bedauerte ich es sehr, dafs sie nur von kurzer Dauer sein konnten. Ich fafste deshalb den Entschlufs, womöglich eine Methode zu finden, um sie haltbar oder doch wenigstens beständiger zu machen. Folgende Betrachtungen überzeugten mich von der Möglichkeit, ein geeignetes Verfahren zu entdecken.

Das Silbernitrat, welches vom Lichte geschwärzt wurde, ist nicht mehr dieselbe chemische Substanz wie zuvor. Wenn daher das dem Sonnenlichte ausgesetzte Bild einem chemischen Prozefs unterworfen wird, so werden die weifsen und die dunklen Teile des Bildes in verschiedener Weise beeinflufst werden. Es ist nicht wahrscheinlich, dafs nach der chemischen Behandlung die unveränderten und die geschwärzten Stellen des Bildes noch weiter einer Veränderung unterliegen werden. Sollte letzteres aber doch der Fall sein, so läfst sich nicht annehmen, dafs diese Änderung jetzt auch darauf hinauslaufen wird, den verschiedenen Stellen das gleiche Aussehen zu verleihen. Angenommen, dafs sie jetzt eine Verschiedenheit beibehalten, so wird auch das Bild sichtbar bleiben, und unser Zweck erfüllt sein.

Meine ersten Versuche hatten keinen Erfolg. Nach einiger Zeit aber entdeckte ich ein Verfahren, das sich vollkommen eignete, und bald darauf ein zweites, welches das erste hinsichtlich der Schönheit der erhaltenen Lichtbilder wohl noch übertrifft.

Dieser chemische Vorgang, den ich das Fixieren nenne, ist bei weitem wirkungsvoller, als man ahnen konnte. Das zuvor so lichtempfindliche Papier wird durch denselben vollkommen unempfindlich. Ich bin imstande Stücke vorzulegen, die eine Stunde lang dem vollen Schein der sommerlichen Sonne ausgesetzt waren. Das Bild hat dadurch nicht gelitten, sondern zeigt seine weifsen Stellen in vollkommener Reinheit.

Die Erscheinung, über welche ich hiermit in der Kürze berichtet habe, scheint mir gewissermafsen den Charakter des Wunderbaren zu besitzen, und zwar in solchem Grade wie irgend eine Thatsache, welche die physikalische Forschung bisher zu unserer Kenntnis gebracht hat. Das vergänglichste Ding, der Schatten nämlich, das sprüchwörtlich gewordene Symbol alles dessen, was dahinschwindet und nur von augenblicklicher Dauer ist, läfst sich für alle Zeit in einer Lage festhalten, die ihm nur für einen Augenblick zuzukommen schien.

Diese bemerkenswerte Entdeckung, welchen Wert sie auch immer nach der praktischen Seite erhalten mag, beweist aufs neue den Wert des induktiven Verfahrens der modernen Wissenschaft. Indem die letztere von dem Eintreten ungewöhnlicher Erscheinungen Notiz nimmt, sie durch Versuche verfolgt und die Bedingungen der letzteren ändert, bis das Naturgesetz enthüllt ist, führt sie uns endlich zu ganz unerwarteten Ergebnissen, die von unserer gewöhnlichen Erfahrung weitab liegen, ja sogar im Gegensatz zu dem gemeinen Denken stehen. Von dieser Art ist die Thatsache, dafs wir imstande sind, den flüchtigen Schatten vermittelst eines Stückes Papier aufzufangen, ihn hier festzuhalten und innerhalb einer Minute derart zu fixieren, dafs er sich nicht mehr zu ändern vermag, selbst nicht, wenn er dem Sonnenlichte wieder ausgesetzt wird, dem er doch seinen Ursprung verdankt.

Vielleicht die merkwürdigste Anwendung dieses neuen Verfahrens ist diejenige, über welche ich jetzt berichten will. Wenigstens überraschte sie die Personen am meisten, welche meine Sammlung durch das Licht erzeugter Bilder betrachtet haben.

Jederman ist mit den reizenden Erscheinungen vertraut, welche durch eine Camera obscura hervorgerufen werden, und hat das lebende Bild der aufserhalb befindlichen Gegenstände bewundert, welches dieser Apparat entwirft. Es kam mir oft in den Sinn, dafs die Möglichkeit, die liebliche Scenerie, welche der Augenblick auf das Papier hinzaubert, oder auch nur die Umrisse derselben, die Lichter und Schatten, wenn auch der Farbe entkleidet, fest-

zuhalten, ein Erfolg von höchstem Interesse sein würde. Zwar war ich zuerst versucht, diese Idee als einen wissenschaftlichen Traum zu betrachten. Nachdem es mir aber gelungen war, durch das Sonnenmikroskop erzeugte Bilder mit Hilfe eines besonders empfindlichen Papiers zu fixieren, zweifelte ich nicht länger, dafs sich in ähnlicher Weise die Gegenstände einer Landschaft abbilden lassen würden.

Ich stellte mir aus einer grofsen Kiste eine Camera obscura her und entwarf vermittelst eines an dem einen Ende angebrachten guten Objektivs ein Bild auf der entgegengesetzten Seite. Nachdem ich den Apparat mit lichtempfindlichem Papier versehen, nahm ich ihn an einem Sommernachmittag mit hinaus und stellte ihn 100 Ellen von einem Gebäude auf, das günstig von der Sonne beleuchtet wurde. Eine oder zwei Stunden nachher öffnete ich die Kiste und fand auf dem Papier ein sehr deutliches Bild des Gebäudes mit Ausnahme derjenigen Teile, welche im Schatten gelegen hatten.

Im Sommer des Jahres 1835 machte ich auf diese Weise eine grofse Anzahl von Aufnahmen meines Landhauses, das für diesen Zweck gut gelegen ist, und dieses Gebäude wird das erste sein, das je sein eigenes Bild gezeichnet hat.

Dem Reisenden in fernen Ländern, welcher des Zeichnens unkundig ist, vermag diese kleine Erfindung einen wirklichen Dienst zu erweisen, und auch für den Künstler selbst, er mag noch so geschickt sein, ist sie von Wichtigkeit. Ich zweifle nicht daran, dafs das Verfahren grofser Verbesserungen fähig ist; aber selbst auf seiner jetzigen Stufe wird es meines Erachtens viele nützliche und wichtige Anwendungen finden.

---

54. Die Physiologie erhält durch Johannes Müller eine wissenschaftliche Grundlage.

A. Von den Energieen des Gesichtssinns. 1826[1]).

Johannes Müller, der Begründer der neueren Physiologie, wurde 1801 in Koblenz geboren, studierte 1819—1822 Medizin und

1) Zur vergleichenden Physiologie des Gesichtssinnes des Menschen und der Tiere nebst einem Versuch über die Bewegungen der Augen von Johannes Müller. Leipzig 1826, Teil II, Kapitel 2.

bekleidete seit 1830 in Bonn, später in Berlin die Professur für Anatomie und Physiologie. Er starb im Jahre 1858.

Von den Arten, wie die Sinne des tierischen Organismus beeinflufst werden, habe ich nur eine zu beleuchten mir vorgenommen, nämlich den Gesichtssinn, dessen Energieen die Empfindung des Lichten, des Dunklen und des Farbigen sind. Und so wollen wir denn gleich im Anfange den Grundgedanken aller physiologischen Untersuchung, sowohl des Gesichtssinnes als aller anderen Sinne aussprechen, den wir im Verfolg der Untersuchung uns nicht oft genug wiederholen können, und ohne den durchaus keine Einsicht in die Physiologie der Sinne möglich ist. Dafs nämlich die Energieen des Lichten, des Dunklen und des Farbigen nicht den äufseren Dingen, den Ursachen der Erregung, sondern der Sehsinnsubstanz selbst anhaften, und dafs die Sehsinnsubstanz nicht erregt werden kann, ohne in den ihr eingeborenen Energieen des Lichten, Dunklen und des Farbigen thätig zu sein. Dafs das Lichte, das Schattige und die Farben nicht als etwas Fertiges, Äufserliches existieren, von dem berührt der Sinn die entsprechende Empfindung habe, sondern dafs die Sehsinnsubstanz, von jedwedem Reiz erregt, immer diesen Reiz in den Energieen des Lichten, Dunklen, Farbigen sich selbst zur Empfindung bringe. Der Sehnerv kann gar nicht erregt werden, ohne sich selbst leuchtend zu sehen, der Hörnerv nicht, ohne eine Tonempfindung zu haben, der Geschmacksnerv nicht, ohne zu schmecken u. s. w. Der Sehnerv sieht nicht darum, weil die Netzhaut mit dem in Berührung kommt, was wir Licht nennen; der Hörnerv hört nicht darum, weil er infolge der Schallleitung mitschwingt. Es ist ganz gleichgültig, welcher Art die Reize sind, die das Sinnesorgan treffen, ihre Wirkung hängt immer von den Energieen des betreffenden Organes ab. Druck, Erschütterung, Reibung, Kälte und Wärme, der galvanische und der elektrische Gegensatz, chemische Reagentien, die Pulse des eigenen Körpers, die Entzündung der Netzhaut, kurz alle nur denkbaren Reize, welche in was immer für einer Form auf die Sehsinnsubstanz zu wirken vermögen, wirken auf diese nur so, dafs sie die Empfindung des Dunklen, welche sie auch ohne Reiz hat, zur Empfindung des Lichten und des Farbigen treiben. Dahin gehören auch alle sogenannten subjektiven Gesichtserscheinungen. Nicht also nur das, was wir Licht nennen, leuchtet; auch der Druck, die Reibung, kurz, alle Bewegung, ruft Lichtempfindung hervor; und das äufsere Licht ist um nichts vornehmer in der Erzeugung

der subjektiven Lichtenergieen als alle anderen Reize; auch das erstere leuchtet nur, sofern es das Auge erregt und dadurch ein sich selbst Fremdartiges, dem Auge Homogenes, die Lichtempfindung, hervorruft. Und es wird nicht etwa durch jene neben dem äufseren Licht gegebenen Reize, sofern sie auf das Auge wirken, nur eine allgemeine Lichtempfindung erweckt, sondern wenn jene Reize, wie der Druck z. B., gleich dem äufseren Lichte, auf einzelne Teile der Netzhaut wirken, rufen sie so gut wie das Licht in der Netzhaut Bilder hervor, deren Grenzen den erregten Teilen entsprechen. Auch ist die Lichterzeugung im Auge nicht etwa so zu denken, als wenn durch die Reibung u. s. w. physisches Licht erzeugt würde. Nie wird durch solche Reize in dem Auge ein dem fremden Beobachter erkennbares Licht entwickelt, wie stark auch die subjektive Lichtempfindung in dem eigenen Auge sein möge. Alle Reize, welche auf Lebendes wirken, setzen weder ihre eigene Wirksamkeit in das Organische, noch auch verbindet sich die einwirkende Substanz mit der leidenden organischen. Sondern alle einwirkenden Substanzen bewirken in dem Organismus ein anderes als sie selbst sind, und die Art der Erregung hängt nicht wesentlich von dem Reize ab, sondern sie ist eine von den in dem Lebewesen gelegenen Energieen. So bewirken alle denkbaren Arten von Reiz auf den Bewegungsnerven nicht das ihnen gleiche, wie z. B. eine mechanische, eine galvanische Äufserung u. s. w., sondern stets nur die Zusammenziehung des Muskels. So bewirken ferner alle denkbaren Reize in der Sehsinnsubstanz nur die Energieen derselben. Was aber dem, das die Lichtenergie in unserem Auge hervorbringt, wesentlich zu Grunde liegt, das wissen wir nicht. Es ist also Unrecht zu sagen, die Körper würden auch ohne das empfindende Organ leuchten, als habe das schon aufserhalb ganz und gar fertige Licht nur zu warten, bis es die Netzhaut berühre, um Fertiges empfunden zu werden.

Wir mögen uns die Mahnung gelten lassen, dafs Licht, Dunkel, Farbe, Ton, Wärme, Kälte die verschiedenen Gerüche und der Geschmack, mit einem Worte, alles, was uns die fünf Sinne an allgemeinen Eindrücken bieten, nicht die Wahrheiten der äufseren Dinge, sondern die Qualitäten unserer Sinne sind. Es ist nur das Empfindungsvermögen, das in diesen rein subjektiven Zweigen ausgebildet ist, infolgedessen die Nervensubstanz hier nur sich selbst leuchtet, dort sich selbst tönt, hier sich selbst fühlt, dort sich selbst riecht und schmeckt. Dafs unter den äufseren Stoffen die einen mehr diesen, die anderen mehr jenen Sinn beeinflussen, dafs die Bedingungen

für verschiedene Töne, für verschiedene Gesichtserscheinungen, wie etwa für die verschiedenen Farben, in den äufseren Dingen gegeben sind, wird damit nicht geleugnet. Aber derselbe Reiz, wie der Galvanismus oder der Druck, die Pulse des Körpers, die Affektion des Gehirns, jeder von all diesen Einflüssen erregt in dem Sehorgan Lichtempfindung, im Gehörorgan Schall- oder Tonempfindung, in den Riechnerven Geruch u. s. w. Die Wesenheit der äufseren Dinge und dessen, was wir äufseres Licht nennen, kennen wir nicht; wir kennen nur die Wesenheiten unserer Sinne, und von den äufseren Dingen wissen wir nur, inwiefern sie auf uns in unseren Energieen wirken. Um von dem äufseren Lichte etwas aus einer ihm selbst gleichwertigen Wirkung an anderen Dingen zu erkennen, müssen wir die physikalischen Wirkungen des Lichtes auf Dinge untersuchen, welche nicht lebende Wesen sind. Ob auf diesem Wege etwas zu gewinnen sei, haben wir hier nicht zu prüfen.

B. Über die Augen und das Sehen der Insekten, Spinnen und Krebse [1].

Fast allen Krebstieren und allen vollkommen entwickelten geflügelten Insekten kommen zusammengesetzte Augen zu; sie fehlen den Larven der Käfer, Hautflügler, Zweiflügler, Schmetterlinge und der meisten Netzflügler. Sie kommen dagegen wieder zu den im Wasser lebenden Larven der Libellen und Eintagsfliegen, sowie den Larven der Gerad- und Halbflügler, welche sich durch eine unvollkommene Verwandlung auszeichnen.

Soviel ist gewifs, dafs, wenn das Auge der Insekten so gebaut ist, wie man glaubt, wir uns einer Einsicht in die Art des Sehens dieser Tiere vollkommen begeben müfsten. Das zusammengesetzte Auge der Insekten erforderte darum eine neue Untersuchung. Ich teile meine Ergebnisse mit, indem ich immer die physiologische Seite im Auge behalte.

Die Hornhaut.

Bei den Insekten sind die Facetten sechseckig, bei den Krebsen bald sechs-, bald viereckig.

---

[1]) Johannes Müller, Zur vergleichenden Physiologie des Gesichtssinnes Leipzig 1826, Teil VII, Kapitel 4 und 5.

Die Zahl der Facetten beträgt nach den Beobachtungen von Swammerdam, Leeuwenhoek[1]) u. a. bei:

Mordella[2])	25000
Libellula	12500
Bombyx mori[3])	6200
Musca domestica[4])	4000
Formica[5])	50

Bei vielen Insekten, namentlich bei den Hautflüglern und den Schmetterlingen, bestehen alle Facetten aus bikonvexen Linsen, wovon ich mich auf das Bestimmteste überzeugt habe. Bei vielen anderen Insekten aber sind die Facetten der Hornhaut weniger konvex und meist an der inneren Fläche eben.

Die durchsichtigen Kegel.

Schon Swammerdam hat in seiner sonst nicht ganz richtigen Darstellung des Auges der Drohne auf durchsichtige kegelförmige Organe aufmerksam gemacht, welche zwischen den Endigungen der Sehnervenfasern und den Facetten der Hornhaut vermittelnd eintreten. Nach meinen Untersuchungen kommen diese Organe den zusammengesetzten Augen aller Insekten und Krebse zu. Die Form dieser Kegel ist bei den verschiedenen Gliedertieren sehr verschieden. Sie richtet sich einigermafsen nach der Form der Facetten.

Die Basis des Kegels, welche mit der entsprechenden Facette der Hornhaut in Verbindung tritt, ist bald eben, bald der inneren konvexen Fläche der Facette entsprechend ausgehöhlt. Die Wände der Kegel liegen dicht aneinander, durch den Farbstoff, welcher sie überkleidet, getrennt. (Zum besseren Verständnis der Beschreibung diene die Figur 45 auf nebenstehender Seite.)

Die unteren Spitzen der durchsichtigen Kegel sitzen auf den Enden der Sehfasern. Der Farbstoff aber, welcher die Sehfasern bis zu ihrem Ursprung aus dem Sehnerven von einander scheidet, dringt auch in die Zwischenräume der Kegel bis zu den Begrenzungen der Facetten ein, überall die äufseren Wände jener Kegel überkleidend.

---

1) Über Swammerdam siehe Abschn. 21 d. Bchs. Leeuwenhoek in Delft (1632—1723) entdeckte die Blutkörperchen und die Infusionstiere.

2) Kleiner, auf Blüten häufig vorkommender Käfer.

3) Seidenspinner.

4) Stubenfliege.

5) Ameise.

Von dem Sehen mit zusammengesetzten Augen.

Was man vom Sehen der Insekten weifs, ist sehr gering. vammerdam u. a. stellten mannigfache Versuche an, die wenig folg hatten. Doch scheint gewifs, dafs r Gesichtskreis der Insekten nur so viel m Horizont umfafst, wie der Kugelab- nitt ihres Auges von dem ganzen Um- ge einer Kugel. Die Insekten entfliehen ht eher, als bis man in jenem durch n Umfang ihres Auges bestimmten Ge- htskreise ihnen näher tritt. Die Augen r Insekten sind ferner keiner Ver- derung für das deutliche Sehen in rschiedenen Fernen fähig; sie sehen ist nur in der Nähe gut. Auch die eueesten, gröfsten Tagschmetterlinge und tzflügler entfliehen nicht, wenn man sich en nähert, ohne einen Schatten zu wer- n und ohne Geräusch zu machen, selbst nn man ihnen auf 10—15 Fufs nahe mmt.

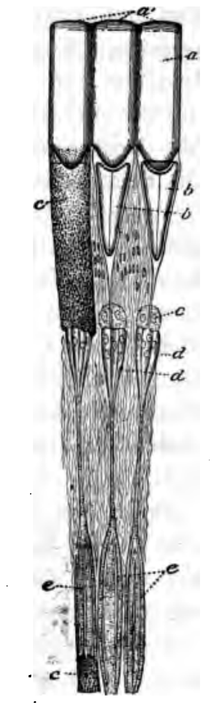


Fig. 45. Das zusammengesetzte Auge der Insekten. a Facetten, b Kegel, c Farbstoff, d Sehnerven.

Die vermittelnden durchsichtigen Kegel ischen den Fasern des Sehnerven und r Hornhaut, welche schon Swammer- m bei der Biene kannte, und die ch meinen Untersuchungen den zusam- ngesetzten Augen der Insekten ohne Aus- hme zukommen, sind als die wichtigsten ile eines zur Sonderung des Lichtes nenden Sehapparates in den bisherigen Erklärungen übersehen rden.

Wenn einer bestimmten Stelle der Netzhaut nur Licht von er bestimmten Stelle des Gegenstandes zukommen kann, von allen deren Teilen der Netzhaut aber dieses Licht ausgeschlossen wird, ist dadurch ein Bild gegeben. Dies geschieht in den zusammen- setzten Augen der Insekten und Krebse durch die zwischen den sern des Sehnerven und den Facetten der Hornhaut gelegenen, beiden verbundenen, an ihren seitlichen Wänden mit Farbstoff leideten durchsichtigen Kegel. Jeder dieser Kegel läfst nur jenige Licht, das unmittelbar durch die Axe des Kegels ein- t, zu der Faser des Sehnerven, mit welcher er an seiner Spitze

verbunden ist. Alles andere von demselben Punkte ausgehende, auf die Hornhaut schief einfallende Licht wird nicht das untere Ende der Kegel erreichen und auch nicht zur Wahrnehmung durch andere Fasern des Sehnerven gelangen; es wird schief einfallend von den mit Farbstoff bekleideten Wänden der nur in der Axe durchsichtigen Kegel verschluckt werden.

Je mehr nun ferner der durchsichtigen Kegel in einem Kugelabschnitte von bestimmter Gröfse vorhanden sind, um so bestimmter wird die Begrenzung des Bildes im Innern des Auges werden.

Die Begrenzung wird auch zunehmen, je länger die Kegel sind oder je weniger das schief einfallende Licht bis zu den Sehfasern der benachbarten Kegel einzudringen vermag. Die Zweiflügler und die Netzflügler, deren Augen viele tausend Facetten und ihnen entsprechende Kegel haben, müssen sich vor den übrigen Insekten aus eben diesem Grunde, und nicht wegen der Gröfse ihrer Augen, durch ein schärferes Gesicht auszeichnen.

Diese Art des Sehens ist freilich immer sehr unvollkommen und undeutlich, aber für den Lebenshaushalt der Insekten hinreichend.

Vermöge der Konvexität der einzelnen Facetten wird die Hornhaut das in der Richtung der Axe einfallende Licht der Axe selbst zulenken und in der Tiefe des Auges zu gröfserer Einigung bringen. So mag es kommen, dafs das den ganzen Kegel durchleuchtende Licht in der Spitze desselben, wo es auf die Sehfaser wirkt, punktförmig vereinigt wird.

Der Farbstoff, welcher sich bis in die Zwischenräume der Sehfasern fortsetzt und sich allmählich gegen die Eintrittsstelle des Sehnerven hin verliert, hat insbesondere noch die Bedeutung, dafs er die einzelnen Sehfasern, wie die ihnen entsprechenden Kegel isoliert. Da nämlich die Sehfasern häufig nicht genau radial gestellt sind, sondern von den Spitzen der Kegel gegen die Eintrittsstelle des Sehnerven hin etwas bogenförmig verlaufen, so würde ohne Zwischenschichten von Farbstoff das in der Axe eines Kegels einfallende Licht mehrere nebeneinander liegende Sehfasern erregen können. Da das zusammengesetzte Auge an den einzelnen Stellen immer nur dasjenige sieht, was ihm in den Axen der durchsichtigen Kegel geboten wird, so liegt die Begrenzung des Gesichtsfeldes auch in der Fortsetzung derjenigen Fläche, welche das Auge seitlich begrenzt. Darum ist das Gesichtsfeld um so gröfser, nicht je gröfser das Auge überhaupt ist, sondern je mehr das Auge sich der Halbkugel nähert.

55. Die Zelle wird als das Elementarorgan des Tier- und Pflanzenkörpers erkannt. 1839.

Schwann, Mikroskopische Untersuchungen über die Übereinstimmung in der Struktur und dem Wachstum der Tiere und Pflanzen[1]).

Schwann wurde am 7. Dezember 1810 in Neufs geboren, war Professor der Anatomie in Löwen und Lüttich und starb in Köln am 11. Januar 1882.

Durch sein Hauptwerk, die „Mikroskopischen Untersuchungen“, aus dem hier ein Abschnitt auszugsweise wiedergegeben werden soll, begründete Schwann die Zellenlehre. Der zu allgemeiner Anerkennung gelangte Grundgedanke derselben besteht darin, dafs jedes pflanzliche oder tierische Lebewesen entweder einzellig ist oder ein Gefüge von Zellen darstellt. Dadurch, dafs in letzterem Falle jede Einzelzelle in den Dienst des Ganzen tritt, entsteht der Zellenstaat, wie wir ihn in allen höheren Lebewesen verwirklicht finden.

Während es nun ein Leichtes war, den zelligen Bau der Pflanzen nachzuweisen, boten die tierischen Gewebe mit ihren weitgehenden Abänderungen des Grundtypus der Zelle besondere Schwierigkeiten. Dieser wufste aber Schwann durch seine mikroskopische Technik und ein beharrliches Verfolgen des leitenden Grundgedankens Herr zu werden, sodafs die Zellenlehre die wichtigste Grundlage der wissenschaftlichen Botanik und Zoologie geworden ist.

So grofs die Mannigfaltigkeit ist, welche die Pflanzen in ihrer äufseren Form darbieten, so einfach ist ihr innerer Bau. Ihr aufserordentlicher Reichtum an Gestalten wird nur hervorgebracht durch die Aneinanderfügung einfacher Elementargebilde, die zwar verschiedene Abänderungen zeigen, aber wesentlich überall dasselbe sind, nämlich Zellen. Manche niederen Pflanzen werden nur von aneinandergereihten gleichartigen [2]) oder selbst nur von einer einzigen Zelle gebildet [3]). Die Gefäfspflanzen bestehen im frühesten Zustande ebenfalls nur aus einfachen Zellen. Bei erwachsenen Gefäfspflanzen ist der Aufbau mannigfaltiger, sodafs man noch vor kurzem als

[1]) Erschienen in Berlin im Jahre 1839.

[2]) Wie die Wasserfäden.

[3]) Die Vaucheria; Siehe Abschnitt 58 d. Bds.

die Elementargewebe dieser Pflanzen Zellengewebe, Fasergewebe und Gefäfse oder Spiralröhren unterschied. Allein die Untersuchungen über den Bau und besonders über die Entwicklungsgeschichte dieser Gewebe haben gezeigt, dafs die Fasern und Spiralröhren nur langgestreckte Zellen und die Spiralfasern nur spiralförmige Ablagerungen auf der inneren Fläche solcher Zellen sind. Auch die Gefäfspflanzen bestehen also aus Zellen, die indes zum Teil eine weitere Entwicklung erfahren haben.

Die Tiere, wie sie überhaupt in ihrer äufseren Form weit mannigfaltiger sind als die Pflanzen, besonders die höheren derselben im erwachsenen Zustande, zeigen auch einen weit mannigfaltigeren Bau in ihren einzelnen Geweben. Wie sehr unterscheidet sich ein Muskel von einem Nerven, dieser vom Horngewebe u. s. w. Gehen wir aber auf die Entwicklungsgeschichte dieser Gewebe zurück, so zeigt es sich, dafs alle die mannigfaltigen Formen ebenfalls nur aus Zellen entstehen, und zwar aus Zellen, welche durchaus den Pflanzenzellen entsprechen. Dies durch Beobachtungen nachweisen, ist der Zweck der vorliegenden Abhandlung.

Man hat schon häufig auf die Ähnlichkeit einzelner tierischer Gebilde mit pflanzlichen aufmerksam gemacht. Allein mit Recht hat man aus solchen einzelnen Ähnlichkeiten nichts gefolgert. Nicht jede Zelle ist ein den Pflanzenzellen entsprechendes Gebilde. Wenn man Zellen tierischer Gewebe jenem Elementargebilde der Pflanzen zur Seite stellen will, so kann dies mit Sicherheit nur auf einem der folgenden Wege geschehen. Entweder man zeigt, dafs ein grofser Teil der tierischen Gewebe aus Zellen, von denen jede ihre besondere Wand haben mufs, entsteht oder besteht. Oder man weist bei einem einzelnen aus Zellen bestehenden tierischen Gewebe nach, dafs in diesen Zellen ähnliche Kräfte wirken wie in den Pflanzenzellen, d. h. dafs Ernährung und Wachstum auf dieselbe oder eine ähnliche Art vor sich gehen. Von diesem Gesichtspunkte aus betrachtete ich auch die Sache, als ich gelegentlich meiner Untersuchungen über die Nervenendigungen in dem Schwanze der Froschlarven nicht nur die schöne zellige Struktur der Chorda dorsalis[1]) bei diesen Larven sah, sondern auch die Kerne in diesen Zellen entdeckte.

---

[1]) Die Chorda dorsalis ist die erste Anlage der Wirbelsäule, sie wird im Laufe der Entwicklung durch die Wirbelkörper verdrängt, bleibt aber bei den niedersten Wirbeltieren, wie dem Amphioxus und dem Neunauge, während der ganzen Dauer ihres Lebens erhalten.

Die Chorda dorsalis liegt bei den Froschlarven, wie bei den Fischen in oder bei einigen unter den Körpern der Wirbel und setzt sich durch die ganze Länge des Schwanzes fort. Sie ist von einer festen Scheide umschlossen und bildet einen spindelförmigen, gallertartigen, durchscheinenden Strang, der am Anfange des Schwanzes am dicksten ist und von da nach beiden Seiten, bis zum Schädel und zur Schwanzspitze, allmählich sich verschmälert. Mikroskopisch betrachtet zeigt sie sich in ihrem Innern von einem zelligen Gefüge. Das Innere gleicht ganz dem der Pflanzen. Siehe Fig. 46. Bald erkennt man, besonders an den Berührungsstellen dreier Zellen, dafs jede Zelle für sich von einer besonderen Haut umschlossen ist. Die Zellen sind von sehr verschiedener Gröfse, im allgemeinen werden sie nach aufsen etwas kleiner. Sie haben eine unregelmäfsige, polyedrische Gestalt; ihre Wände sind sehr dünn, farblos, glatt, fast vollkommen durchsichtig, fest und wenig dehnbar. Die Zellen der Chorda dorsalis der Froschlarven enthalten in ihrem Innern eine farblose, durchsichtige Flüssigkeit.

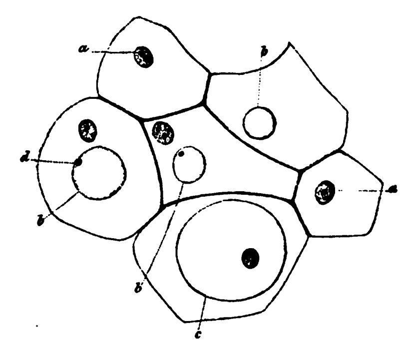


Fig. 46. Die Zellen der Chorda dorsalis einer Plötze.
(Aus Schwanns Untersuchungen.)

Bei weitem die meisten dieser Zellen enthalten einen sehr deutlichen Kern. Er stellt ein etwas gelblich gefärbtes Scheibchen dar, von ovaler Form, etwas kleiner als ein Froschblutkörperchen und fast ebenso platt. Vergl. Fig. 46 a, wo er aus der Chorda dorsalis einer Plötze abgebildet ist. In diesem Scheibchen sieht man einen, selten zwei und sehr selten drei dunkle scharf umschriebene Flecke. Es gleicht also durchaus dem Kern der Pflanzenzellen mit dessen Kernkörperchen und ist mikroskopisch gar nicht davon zu unterscheiden. Aber auch in seiner Lage zur Zelle stimmt es mit dem Kern überein. Bei sehr vielen Zellen nämlich, deren senkrechte Wand von oben gesehen wird, kann man sich überzeugen, dafs der Kern dicht an der inneren Wandfläche der Zelle liegt. Die Zellen der Chorda dorsalis liegen so dicht beieinander, dafs die Wände zweier benachbarter Zellen sich unmittelbar berühren. Selbst wenn drei oder mehr Zellen zusammenstofsen, ist dies meistens so innig, dafs man nur die sich berührenden Wände be-

merkt. Zuweilen jedoch bleibt in diesem Falle ein kleiner Zwischenraum, und hier zeigt sich dann wie bei den Pflanzen eine Art Intercellularsubstanz oder ein Intercellulargang. Man sieht wenigstens zuweilen in einem solchen Falle von Aneinanderstofsen dreier Zellen auf einem frischen Querschnitte die Zellwände sowohl nach der Zelle hin als nach aufsen scharf begrenzt und zwischen ihnen einen kleinen dreieckigen Zwischenraum, der von einer durchsichtigen Flüssigkeit (nicht von Luft, wie es bei den Pflanzen die Regel ist), oder wenigstens mit einer Substanz gefüllt ist, die das Licht anders bricht als die Zellwände selbst.

Was die Verdickung der Wände anbelangt, so scheint bei der Chorda dorsalis der Froschlarven die Zellwand immer einfach zu bleiben; aber bei den erwachsenen Knochenfischen z. B. zeigt sich eine solche Verdickung. Die Zellhöhlen werden durch diese Verdickung der Wände immer kleiner.

Um die Untersuchungen über die Chorda dorsalis zusammenzufassen, kann man also sagen: sie besteht aus polyedrischen Zellen, die an ihrer inneren Wandfläche ein mit dem Pflanzenzellkern in seiner Form und Lage übereinstimmendes Gebilde haben, nämlich ein ovales plattes Scheibchen, welches ein oder zwei Kernkörperchen enthält. Die Zellen stofsen gewöhnlich dicht aneinander. Zuweilen aber kommt an Stellen, wo drei oder mehr Zellen zusammenstofsen, eine Art Intercellularsubstanz oder ein Intercellulargang vor.

Wichtiger für die ganze tierische Organisation ist die Übereinstimmung des Gefüges der Knorpel mit dem des Pflanzengewebes.

Wir haben es hier nicht nur mit einem weit verbreiteten tierischen Gewebe zu thun, sondern auch mit einem solchen, welches wenigstens in seinen späteren Entwicklungsstufen Gefäfse enthält, und daher entschiedener den Charakter eines tierischen Gewebes trägt. Die einfachste Form des Knorpels zeigt sich in den Kiemenstrahlen der Fische. Der Bau dieses Knorpels ist sehr einfach. An der Spitze gleicht er in seinem Aussehen ganz dem Pflanzenzellgewebe. Siehe Fig. 47. Man sieht kleine, polyedrische, dicht an einander liegende Zellen mit abgerundeten Ecken. Der Zellinhalt ist durchsichtig und läfst an einigen Zellen schon im frischen Zustande, an anderen erst nach der Einwirkung von Wasser einen kleinen blassen runden Kern erkennen. Jede Zellhöhle zeigt sich mit einem dicken Ring, ihrer eigentümlichen Wand, umgeben, deren äufsere Begrenzung bald mehr, bald weniger deutlich ist. Zwischen

zwei Zellen fliefsen diese äufseren Umrisse zu einer Linie zusammen, laufen aber auseinander, wenn die Berührung der Zellwände aufhört, sodafs oft ein drei- oder viereckiger Zwischenraum, eine Art Intercellularsubstanz, zwischen den Zellwänden übrig bleibt.

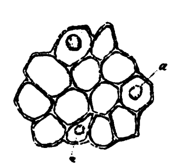


Fig. 47. Knorpel aus der Spitze des Kiemenstrahls einer Plötze. (Aus Schwanns Untersuchungen.)

Die Untersuchung über die Chorda dorsalis und die Knorpel, deren Einzelheiten hier nicht wiedergegeben sind, hat zu dem Ergebnis geführt, dafs die wichtigsten Verhältnisse ihres Baus und ihrer Entwicklung mit entsprechenden Dingen bei den Pflanzen übereinstimmen; dafs zwar noch einige Abweichungen übrig bleiben, die aber nicht hinreichend sind, das Hauptergebnis zu stören, dafs nämlich diese Gewebe aus Zellen entstehen, welche durchaus den Elementarzellen der Pflanzen gleich gestellt werden müssen. Es ist hiermit der erste der in der Einleitung verlangten Beweise geliefert, nämlich bei einem einzelnen Gewebe zu zeigen, dafs es nicht nur aus Zellen entsteht, sondern dafs diese Zellen bei ihrem Entwicklungsvorgang ähnliche Erscheinungen zeigen, wie die Pflanzenzellen. Dadurch ist eine Hauptscheidewand zwischen Tier- und Pflanzenreich, die Verschiedenheit des Gefüges gefallen. Wir kennen die Bedeutung der einzelnen Teile der genannten tierischen Gewebe und wissen, dafs bei diesen Geweben Zellen, Zellhaut, Zellinhalt, Kerne und Kernkörperchen durchaus den gleichnamigen Teilen der Pflanzenzellen entsprechen.

Es bleibt uns jetzt der zweite Beweis für die Übereinstimmung des tierischen und pflanzlichen Gefüges zu liefern übrig, nämlich der, dafs die meisten oder alle tierischen Gewebe sich aus Zellen entwickeln.

Schwann gelangte durch die Untersuchung der Knochen, Muskeln, Nerven, Gefäfse und Oberhautbildungen zu dem Ergebnis, dafs dies der Fall ist.

56. Die Physiologie wendet sich gegen die Annahme einer besonderen Lebenskraft.

Schleiden, Erörterungen über Gegenstand und Aufgabe der Botanik. 1845[1]).

Schleiden wurde 1804 in Hamburg geboren, war Professor der Botanik in Jena und Dorpat und starb 1881 in Frankfurt am Main. Schleiden war nicht nur ein hervorragender Forscher, sondern vor allem ein Reformator, welcher neue Ziele und Wege wies. Mit dem Erscheinen seiner „Botanik", der nachstehender Abschnitt entnommen ist, beginnt für diese Wissenschaft die Periode vorwiegend induktiver Forschungsweise.

Unter die allgemeinste naturwissenschaftliche Aufgabe, allen Wechsel der Erscheinungen auf Bewegungen zurückzuführen und nach mathematischen Gesetzen aus den Grundkräften der Anziehung und Abstofsung zu erklären, fällt auch die Konstruktion des Bildungstriebes. Von der Lösung dieser Aufgabe sind wir noch so weit entfernt, wie man von der Konstruktion der Gravitationserscheinungen vor Newton, vielleicht selbst vor Keppler entfernt war. Das thut aber der Richtigkeit der Aufgabe keinen Abbruch. Zuerst wird und mufs diese Aufgabe bei den Krystallen gelöst werden.

Es ist ein allgemeines Naturgesetz (d. h. überall bestätigte Erfahrung), dafs sich die Gestalt als das relativ Feste nur aus dem Flüssigen bildet. Theoretisch liefse sich dieses Gesetz so ableiten: Bildung einer Gestalt ist Bewegung der einzelnen Teilchen eines Stoffes bis an eine gewisse Stelle. Der flüssige Zustand ist aber der einzige, bei welchem ohne Aufhebung des Zusammenhanges die Beweglichkeit der einzelnen Teile im höchst möglichen Grade vorhanden ist, also ist Gestaltbildung nur im Flüssigen möglich. Entweder schliefst nun die Gestalt bei ihrer Entstehung die Mutterlauge aus oder ein, wenn wir mit diesem passenden, der Chemie entlehnten Worte ganz allgemein die aus sich Gestalten bildende Flüssigkeit bezeichnen. Ich mufs hier noch bemerken, dafs die

[1]) Die Botanik als induktive Wissenschaft behandelt von M. J. Schleiden. Leipzig, Verlag von Wilhelm Engelmann. 1. Auflage 1842. Der obige Abschnitt wurde der 2. Auflage (1845) entnommen und ist eine gekürzte Wiedergabe von Bd. 1, § 2.

bildende Kraft nur in dem Stoffe, in der Flüssigkeit liegen kann. Nicht die Gestalt bildet sich, wie es so oft falsch ausgedrückt wird, sondern die Flüssigkeit bildet sie.

In dem ersten der angeführten Fälle, wenn nämlich das Feste die Mutterlauge ausschliefst, bildet sich der Krystall. Die Natur macht hier den ersten Versuch zur Gestaltung; es ist die niedrigste Stufe der bildenden Thätigkeit. Die bildende Kraft bleibt hier lediglich ein Äufseres, durch keine Einwirkung von innen heraus Bedingtes. Der zweite Fall ist der, dafs das Feste die Mutterlauge einschliefst. Hier bezieht sich sogleich die ganze Bildung auf ein Inneres.

Wir wollen diese einfache Gestalt, wo das Feste einen Teil der Mutterlauge umschliefst, eine Zelle nennen. Es liefse sich nun der Fall denken, dafs die Hülle ein vollkommener Isolator zwischen den physikalischen Kräften der Aufsenwelt und der eingeschlossenen Mutterlauge wäre. Indes abgesehen davon, dafs selbst für eine einzelne physikalische Kraft uns die Erfahrung keinen solchen Isolator aufweist, giebt sie uns für die tierische und pflanzliche Membran ganz entschieden das Gegenteil an die Hand. Einer solchen Membran kommt aufser der Durchdringlichkeit für die Imponderabilien[1]) noch diejenige für in flüssigem Zustande befindliche wägbare Stoffe zu. Die physikalischen Kräfte wirken also auf den Inhalt der Zelle fort, aber beeinflufst durch die Vermittlung der umschliefsenden Hülle.

Wollen wir nun die Ausdrücke lebendig und tot, organisch und unorganisch auf diese verschiedenen Produkte des Bildungstriebes anwenden, so können wir immerhin die Krystalle unorganische, tote, die Zellen organische, lebende Wesen nennen. Wir kennzeichnen also hier den Begriff Organismus als das Verhältnis der Gestalt zur eingeschlossenen Mutterlauge, und Leben als Wechselwirkung zwischen der Mutterlauge und der Gestalt, zwischen dem Inhalt und den äufseren physikalisch-chemischen Kräften, vermittelt durch die umschliefsende Hülle.

Bedenken wir, welchen Zeitraum (nämlich von der Alexandrinischen Schule bis auf Newton) man in der Astronomie gebraucht hat, um in den so einfachen Verhältnissen der kosmischen Vorgänge von der Beobachtung der Erscheinungen bis auf die Erkenntnis der Grundkräfte vorzudringen! Wir werden uns daher nicht wundern dürfen, wenn wir bemerken, dafs man in der Lehre

---

[1]) Licht, Wärme, Elektricität.

vom Leben noch kaum über die ersten Anfänge hinaus ist, da hier die Verhältnisse so unendlich viel verwickelter sind. Wir haben in der Physik eine Anzahl verschiedenartiger Kräfte kennen gelernt, deren Wirkungsweise, an Gesetze gebunden und nach Mafs und Zeit bestimmt, für gewisse Kreise von Erscheinungen eine erklärende Ableitung zulassen, wenn wir auch noch nicht behaupten dürfen, auf die letzten Gründe gekommen zu sein. Aber bei allen physikalischen Kräften haben wir doch wenigstens eine feste Erkenntnis ihrer Wirkungsweise und ihrer Gesetzlichkeit. Beides geht uns aber für die sogenannte Lebenskraft völlig ab. Niemand ist imstande anzugeben, was sie sei, wie sie wirke, an welche Gesetze ihre Wirkungsweise gebunden sei, wie sie gemessen und danach der Erfolg bestimmt werden könne; und deshalb ist es auch unmöglich, sie als Erklärungsgrund für irgend eine Erscheinung zu gebrauchen. Der Ausspruch: dieser oder jener Vorgang ist eine Folge der Lebenskraft, heifst nichts anderes als: dieser Vorgang hat irgend eine Ursache, was sich natürlich von selbst versteht; welche aber, ist damit auch nicht einmal annäherungsweise bestimmt. Es ist Sache der Naturwissenschaft nachzuweisen, dafs die Annahme einer Lebenskraft als einer von den physikalischen Kräften verschiedenen, den Organismen eigenen Grundkraft ein Unding sei.

Es kann nicht in Abrede gestellt werden, dafs in und an den Organismen eine Menge von Erscheinungen hervortreten, die zur völligen Genüge als Wirkungen rein unorganischer Kräfte zu erklären sind. Aber von keiner dieser Kräfte kennen wir bis jetzt die Grenze ihrer Wirksamkeit im Organismus. Wenn man nun auch gar nicht in Abrede stellen wollte, dafs es neben jenen Kräften im organischen Körper noch eine diesem eigentümliche Grundkraft (die Lebenskraft) gäbe, so ist doch so viel einleuchtend, dafs erst dann von ihr die Rede sein kann, wenn wir die Wirkungssphäre aller unorganischen Kräfte im Organismus bis zu ihren äufsersten Grenzen durchforscht haben, bis alle Versuche darüber angestellt, alle zum vollständigen Abschlufs gebracht, alles dabei so klar geworden ist, dafs kein Zweifel mehr übrig bleibt. Dann erst, und nicht einen Augenblick früher, sind wir imstande zu bestimmen, ob nun noch von dem Ganzen, das wir Leben nennen, ein gröfserer oder geringerer Teil übrig bleibt, der sich niemals auf die unorganischen Kräfte als deren Ergebnis zurückführen lassen würde. Erst dann sind wir bei dem Gebiete der Lebenskraft angekommen, dann erst können unsere Forschungen

diese eigentümliche Kraft zu ihrem Gegenstande nehmen. Und wenn wir dann ihre Art und Weise, ihre Gesetzlichkeit u. s. w. erkannt haben, können wir sie als Erklärungsgrund in die Wissenschaft einführen. Jetzt aber, wo noch tausend verschiedene Fragen sich darbieten, deren Lösung durch das genauere Studium der unorganischen Kräfte zu hoffen ist, da tausende von Versuchen noch zu machen sind, die nur die unorganischen Kräfte betreffen und die noch gemacht werden müssen, ehe wir weiter fortschreiten können, ist es geradezu lächerlich, von der Lebenskraft anders zu sprechen, als von einem unbekannten x, dessen Wert am Ende der Rechnung auch wohl = o werden könnte. Nur Unwissenheit und Geistesträgheit sind bei dem jetzigen Stande unserer Naturwissenschaften die Verteidiger einer Lebenskraft, die alles machen, alles erklären soll, und von der keiner angeben kann, wo sie steckt, wie sie wirkt, an welche Gesetze sie gebunden ist. Der Wilde, der eine Lokomotive ein lebendes Tier nennt, ist nicht unwissender als der Naturforscher, der von Lebenskraft im Organismus spricht. Beide nennen das lebendig, bei dem sie eine Summe von Thätigkeiten zu einer Gesamtwirkung verbunden sehen, ohne zur Zeit imstande zu sein, sich über die einzelnen Summanden Rechenschaft zu geben. Freilich schadet es nichts, wenn man vorläufig ein unbekanntes x mit irgend einem Ausdruck bezeichnet, wenn man nur beständig im Auge behält, dafs der Ausdruck noch keine bestimmte Geltung und Bedeutung habe; wohl aber ist es höchst verderblich für die Wissenschaft, wenn man sich durch die Zweideutigkeit, die in dem Worte Lebens*kraft* liegt, verführen läfst, diesen Ausdruck ebenso für etwas seiner Art und Gesetzlichkeit nach Bestimmtes zu halten wie etwa die Schwerkraft, denn dadurch wird jedem Fortschritt und jeder Aufklärung eine unübersteigliche Schranke entgegengesetzt.

57. Liebig beantwortet die Frage nach der Ernährung der Pflanzen. 1840.

Der Vorgang der Ernährung der Pflanzen[1].

Justus Liebig, einer der hervorragendsten Forscher des 19. Jahrhunderts, wurde am 12. Mai 1803 in Darmstadt geboren. Seit 1824 Professor der Chemie in Giefsen folgte er 1852 einem Rufe nach München, wo er am 18. April 1873 starb. Durch das bahnbrechende Werk über die Ernährung der Pflanzen, dem Nachstehendes entnommen ist, wurde die Grundlage für den chemischen Teil der Pflanzenphysiologie geschaffen und eine rationelle Landwirtschaft ermöglicht, sodafs Liebig hierdurch vor allem einer der gröfsten Wohlthäter der Menschheit geworden ist. Näheres über ihn siehe Bd. II d. Grdr. (1. Aufl.) S. 378 u. f.

Im freien wilden Zustande entwickeln sich alle Teile einer Pflanze je nach der Art und Menge der Nahrungsstoffe, die ihr vom Standorte dargeboten werden. Sie bildet sich auf dem magersten, unfruchtbarsten Boden ebenso aus, wie auf dem fettesten und fruchtbarsten; nur in ihrer Gröfse und Masse, in der Anzahl der Halme, Zweige, Blätter, Blüten oder Früchte beobachtet man einen Unterschied.

Während auf einem fruchtbaren Boden alle Organe der Pflanze sich vergröfsern, verkümmern sie auf einem anderen, wo ihr diejenigen Stoffe minder reichlich zufliefsen, die sie zu ihrer Bildung bedarf. Der Gehalt der Pflanze an stickstoffhaltigen oder stickstofffreien Bestandteilen ändert sich mit der Menge stickstoffhaltiger und stickstofffreier Nährstoffe.

Die Entwicklung der Halme und Blätter, der Blüten und Früchte ist an bestimmte Bedingungen geknüpft. Die Ausmittelung dieser Bedingungen ist die Aufgabe des Naturforschers; aus ihrer Kenntnis müssen die Grundsätze der Land- und Forstwirtschaft entspringen.

Es giebt kein Gewerbe, das sich an Wichtigkeit dem Ackerbau, der Hervorbringung von Nahrungsmitteln für Menschen und Tiere, vergleichen läfst, in dem Ackerbau liegt die Grundlage des Reichtums der Staaten, er ist die Grundlage aller Industrie.

[1]) Gekürzte Wiedergabe eines Abschnittes aus Liebigs „Organische Chemie in ihrer Anwendung auf Agrikultur und Physiologie". Braunschweig 1842. 1. Teil, 8. Kapitel.

In keinem anderen Gewerbe ist die Anwendung richtiger Grundsätze von wohlthätigeren Folgen, von gröfserem Einflufs; und es mufs um so rätselhafter und unbegreiflicher erscheinen, wenn man in den Schriften der Landwirte und Physiologen vergebens nach einem leitenden Grundsatze sich umsieht.

An allen Orten, in allen Gegenden wechseln die Methoden des Feldbaues, und wenn man nach den Ursachen dieser Abweichung fragt, so erhält man die Antwort, sie hängen von den Umständen ab. Es giebt keine Antwort, in der sich die Unwissenheit offenbarer ausspricht, denn niemand hat sich bis jetzt damit abgegeben, diese Umstände zu erforschen.

Neben gleichen allgemeinen Bedingungen des Wachstums aller Pflanzen, nämlich der Feuchtigkeit, des Lichtes, der Wärme und der Bestandteile der Atmosphäre, giebt es besondere, welche auf die Entwicklung einzelner Familien einen hervorragenden Einflufs ausüben. Diese besonderen Bedingungen liegen im Boden, oder sie werden den Pflanzen in der Form von Stoffen geboten, die man als Dünger bezeichnet.

Was enthält aber der Boden, was enthalten die Stoffe, die man Dünger nennt? Vor der Ausmittelung dieser Fragen kann an eine vernünftige Land- und Forstwirtschaft nicht gedacht werden.

Zur vollständigen Lösung dieser Fragen werden die Kräfte und Kenntnisse des Pflanzenphysiologen, des Landwirts und des Chemikers in Anspruch genommen; es mufs damit ein Anfang gemacht werden.

Die Bodenkultur beabsichtigt eine aufsergewöhnliche Entwicklung und Erzeugung von gewissen Pflanzenteilen oder Pflanzenstoffen, die zur Ernährung der Tiere und Menschen oder für die Zwecke der Industrie verwendet werden.

Man verfährt bei der Kultur der Gewächse auf eine ganz ähnliche Weise wie bei den Tieren, die man mästen will; das Fleisch der Hirsche, Rehe, überhaupt der wilden Tiere ist gewöhnlich fettlos. Die Erzeugung von Fett und Fleisch kann gesteigert werden, alle Haustiere sind reich an Fett. Wir steigern die Menge der Nahrungsstoffe, oder wir vermindern durch Mangel an Bewegung den Atmungsprozefs.

Eine Erhöhung oder Verminderung der Lebensthätigkeit ist bei den Pflanzen allein abhängig von der Wärme und dem Sonnenlicht, über die wir nicht willkürlich verfügen können; es bleibt uns nur die Zuführung von Stoffen übrig, welche geeignet sind, von den Pflanzen aufgenommen zu werden.

Welches sind nun diese Stoffe?

Die Ackererde ist durch die Verwitterung von Felsarten entstanden; von den vorwaltenden Bestandteilen dieser Felsarten sind ihre Eigenschaften abhängig. Mit Sand, Kalk und Thon bezeichnen wir diese vorwaltenden Bestandteile der Bodenarten.

Reiner Sand, reiner Kalkstein, in denen andere anorganische Bestandteile fehlen, sind ganz unfruchtbar.

Von fruchtbarem Boden macht aber unter allen Umständen der Thon einen nie fehlenden Bestandteil aus.

Wo stammt nun der Thon der Ackererde her? Welches sind die Bestandteile desselben, welche Anteil an der Vegetation nehmen?

Der Thon stammt von der Verwitterung thonerdehaltiger Mineralien her, unter denen die verschiedenen Feldspate, der gewöhnliche Kalifeldspat, der Natronfeldspat und der Kalkfeldspat, sowie der Glimmer die verbreitetsten sind.

In dem Thon mufs eine Ursache vorhanden sein, welche einen Einflufs auf das Leben der Pflanzen ausübt und direkten Anteil an ihrer Entwicklung nimmt.

Diese Ursache ist der nie fehlende Kali- und Natrongehalt des Thons[1]).

Ein Boden, welcher die gröfste Fruchtbarkeit besitzt, enthält den Thon gemengt mit anderen verwitterten Gesteinen, ferner Kalk und Sand in einem solchen Verhältnis, dafs er der Luft und Feuchtigkeit bis zu einem gewissen Grade leichten Eingang verstattet.

Der Boden in der Nähe des Vesuvs läfst sich als der Typus der fruchtbarsten Bodenart betrachten. Dieser aus verwitterter Lava entstandene Boden kann seinem Ursprung nach nicht die leiseste Spur pflanzlicher Stoffe enthalten. Jedermann weifs, dafs wenn die vulkanische Asche eine Zeit lang der Luft und dem Einflufs der Feuchtigkeit ausgesetzt gewesen ist, alle Pflanzen darin in der gröfsten Üppigkeit und Fülle gedeihen.

Die Bedingungen dieser Fruchtbarkeit nun sind die darin enthaltenen Alkalien, welche nach und nach durch die Verwitterung die Fähigkeit erlangen, von der Pflanze aufgenommen zu werden.

Man hat dargethan, dafs kohlensäurehaltiges Wasser die Gebirgsarten, welche Alkalien enthalten, zerlegt, dafs es einen Gehalt

[1]) Während die Pflanzen ohne Zufuhr von Kalium sich nicht fortentwickeln, ist das zwar weit verbreitete Natrium als ein entbehrliches Element erkannt worden. Der Boden mufs ferner den Pflanzen Calcium, Magnesium. Eisen, Phosphor und Schwefel bieten.

von kohlensaurem Alkali empfängt. Es ist klar, dafs die Pflanzen selbst, sofern ihre Überreste durch Verwesung Kohlensäure erzeugen, sofern ihre Wurzeln im lebenden Zustande Säuren ausscheiden, nicht minder kräftig den Zusammenhang der Gebirgsarten lockern. Neben der Einwirkung der Luft, des Wassers und des Temperaturwechsels sind also die Pflanzen selbst die mächtigsten Ursachen der Verwitterung.

Auf einem Boden, der Jahrhunderte lang allen Ursachen der Verwitterung ausgesetzt gewesen ist, von dem aber die aufgeschlossenen Alkalien nicht fortgeführt wurden, werden alle Pflanzen, die zu ihrer Entwicklung beträchtliche Mengen Alkali bedürfen, eine lange Reihe von Jahren hinreichende Nahrung finden. Allein nach und nach mufs der Boden erschöpft werden, wenn das Alkali, das ihm entzogen wurde, nicht wieder ersetzt wird. Es mufs ein Punkt eintreten, wo er der Verwitterung wieder ausgesetzt werden mufs, um einer neuen Ernte Vorrat von auflösbaren Alkalien zu geben.

So wenig Alkali es auch im ganzen sein mag, das die Pflanzen bedürfen, sie kommen ohne dieses Alkali nicht zur Entwicklung; sie können es nicht entbehren.

Nach einem Zeitraume von einem oder mehreren Jahren, während welcher Zeit das Alkali dem Boden nicht entzogen wird, kann man wieder auf eine neue Ernte rechnen.

Die ersten Pflanzer fanden in Virginien einen Boden von der obenerwähnten Beschaffenheit vor; ohne Dünger erntete man auf einem und demselben Felde ein ganzes Jahrhundert lang Weizen oder Tabak, und jetzt sieht man ganze Gegenden verlassen und in unfruchtbares Weideland verwandelt, welches kein Getreide, keinen Tabak mehr ohne Dünger hervorbringt.

In diesem Zustande befindet sich im allgemeinen alles bebaute Land in Europa.

Man giebt sich einer unbegreiflichen Täuschung hin, wenn man dem Verschwinden des Humusgehaltes in diesem Boden zuschreibt, was eine blofse Folge der Entziehung der Alkalien ist[1]).

Man versetze sich in die Umgebung Neapels, welche als fruchtbares Getreideland bekannt ist. Seit Jahrhunderten wird

[1]) Nach der Humustheorie müssen alle Pflanzen aus dem Boden organische Nahrung aufnehmen. Diese geradezu unsinnige Lehre erhielt erst durch das hier zu Grunde liegende Werk Liebigs den Todesstofs.

auf diesen Feldern Getreide gezogen, ohne dafs dem Boden wiedergegeben wird, was man ihm jährlich nimmt. Wie kann man unter solchen Verhältnissen dem Humus eine Wirkung zuschreiben? Die Art der Bewirtschaftung, die man in diesen Gegenden anwendet, erklärt die Verhältnisse vollkommen; man bebaut nämlich das Feld nur von drei zu drei Jahren, und läfst es in der Zwischenzeit Viehherden zu einer spärlichen Weide dienen. Während der zweijährigen Brache hat das Feld keine weitere Änderung erlitten, als dafs der Boden den Einflüssen der Witterung ausgesetzt gewesen ist; eine gewisse Menge der darin enthaltenen Alkalien ist infolgedessen wieder aufgeschlossen worden.

Wenn der Humus dem Boden die Fähigkeit geben soll, Getreide zu erzeugen, woher kommt es dann, dafs Weizen in reiner Holzerde nicht gedeiht, dafs der Halm keine Stärke erhält und sich frühzeitig umlegt? Es kommt daher, weil die Festigkeit des Halmes von kieselsaurem Kali herrührt, weil das Korn phosphorsaure Bittererde[1]) bedarf, die ihm der Humusboden nicht liefern kann, da er keins von beiden enthält; man bekommt Kraut aber keine Frucht.

Woher kommt es denn, dafs Weizen nicht auf Sandboden gedeiht, dafs der Kalkboden, wenn er nicht eine beträchtliche Menge Thon beigemischt enthält, unfruchtbar für diese Pflanze ist? Es kommt daher, weil diese Bodenarten für Weizen nicht hinreichend Alkali enthalten, er bleibt selbst dann in seiner Entwicklung zurück, wenn ihm alles andere im Überflufs geboten wird.

Ist es denn nur Zufall, dafs in den Karpathen und im Jura auf Sandstein und Kalk nur Nadelholz gedeiht, dafs wir auf Glimmerschiefer und Granitboden in Baiern, auf Basalt im Vogelsberge, auf Thonschiefer am Rhein und in der Eifel die schönsten Laubholzwaldungen finden, die auf Sandstein und Kalk, worauf Fichten noch gedeihen, nicht mehr fortkommen? Es kommt daher, weil die Blätter des Laubholzes, welche jährlich sich erneuern, zu ihrer Entwicklung die 6—10fache Menge Alkali erfordern.

Wenn auf Sandstein und Kalkboden Laubholz vorkommt, wenn wir die Rotbuche, den Vogelbeerbaum, die wilde Süfskirsche auf Kalk üppig gedeihen sehen, so kann man mit Gewifsheit darauf rechnen, dafs in dem Boden eine Bedingung ihres Lebens, nämlich die Alkalien, nicht fehlt.

---

[1]) Magnesiumphosphat.

Alle Grasarten bedürfen des kieselsauren Kalis; es ist kieselsaures Kali, das beim Bewässern der Wiesen dem Boden zugeführt, das in dem Boden aufgeschlossen wird. In Gräben und in kleinen Bächen, an Stellen, wo durch den Wechsel des Wassers die aufgelöste Kieselerde sich unaufhörlich erneuert, auf kalireichem Thonboden und in Sümpfen gedeihen die Schachtelhalme, die Schilf- und Rohrarten, welche so grofse Mengen Kieselerde oder kieselsaures Kali enthalten, in gröfster Üppigkeit.

In einer jeden bis jetzt untersuchten Pflanzenasche fand man Phosphorsäure, gebunden an Alkalien und alkalische Erden; die meisten Samen enthalten gewisse Mengen davon, die Samen der Getreidearten sind sogar reich an Phosphorsäure.

Die Phosphorsäure wird von der Pflanze aus dem Boden aufgenommen, alles kulturfähige Land, selbst die Lüneburger Heide, enthält bestimmbare Mengen davon. In allen auf Phosphorsäure untersuchten Mineralwassern hat man gewisse Mengen dieser Säure entdeckt.

Aus dem Boden gelangt die Phosphorsäure in die Samen, Blätter und Wurzeln der Pflanzen, aus diesen in den Körper der Tiere, wo sie zur Bildung der Knochen und der phosphorhaltigen Bestandteile des Gehirns verwendet wird. Durch Fleischspeisen, Brot, Hülsenfrüchte gelangt bei weitem mehr Phosphor in den Körper, als er bedarf; durch den Urin und die festen Ausscheidungen wird aller Überschufs wieder abgeführt.

Die Brache ist, wie sich aus dem Vorhergehenden ergiebt, diejenige Periode der Kultur, in welcher man das Land einer fortschreitenden Verwitterung vermittelst des Einflusses der Atmosphäre überläfst. Für den Zweck der Kultur ist es völlig gleichgültig, ob man das Land mit Unkraut sich bedecken läfst, oder ob man eine Pflanze darauf baut, welche dem Boden das aufgeschlossene Kali nicht entzieht.

In der Familie der Schmetterlingsblüter sind viele Arten ausgezeichnet durch ihren geringen Gehalt an Alkalien und Salzen überhaupt; die Bohne enthält z. B. an phosphorsaurem Kalk und Bittererde noch kein ganzes Prozent; die grünen Blätter und Schoten der Erbsen enthalten nur $^1/_{1000}$ phosphorsaure Salze, die reifen Erbsen geben im ganzen nur 1,93 % Asche, davon sind 0,29 % phosphorsaurer Kalk. Der Buchweizen liefert, an der Sonne getrocknet, im ganzen nur 0,68 % Asche.

Die erwähnten Pflanzen gehören zu den sogenannten Brachfrüchten. In ihrer Zusammensetzung liegt der Grund, warum sie

dem Getreide, das nach ihnen gepflanzt wird, nicht schaden; sie entziehen dem Boden keine Alkalien, sondern nur eine verschwindende Menge von phosphorsauren Salzen.

Es ist klar, dafs zwei Pflanzen, welche neben einander wachsen, sich gegenseitig schaden, wenn sie dem Boden dieselben Nährstoffe entziehen. Zwei Pflanzen werden nebeneinander oder hintereinander gedeihen, wenn sie aus dem Boden verschiedenartige Stoffe zu ihrer Ausbildung nötig haben.

Auf einem an Kali reichen Boden kann man mit Vorteil Weizen nach Tabak bauen, denn der Tabak bedarf keiner phosphorsauren Salze, die dagegen dem Weizen nicht fehlen dürfen; der Tabak hat vorzugsweise Alkalien und stickstoffreiche Nährstoffe nötig.

Zehntausend Gewichtsteile Tabaksblätter enthalten nämlich 16 Teile phosphorsauren Kalk, während die gleiche Menge Weizenstroh 47,3 Teile und die nämliche Menge Weizenkörner 99,5 Teile phosphorsaure Salze enthalten.

---

58. Die Kryptogamenkunde wird durch wichtige Beobachtungen über die Fortpflanzung der Algen bereichert.

Unger, Die Pflanze im Momente der Tierwerdung. 1842[1]).

Unger, hervorragender Paläontolog und Botaniker, wurde im Jahre 1800 in Steiermark geboren, war Professor der Botanik in Wien und starb im Jahre 1870. Die ersten Beobachtungen über Schwärmsporen, von deren Verhalten die hier im Auszuge mitgeteilte Arbeit Ungers handelt, hat man schon im Beginne des Jahrhunderts gemacht.

Ich machte im März des Jahres 1842 einen Spaziergang. In einem freundlich dahinrieselnden Bächlein fielen mir die saft-

1) Dieser Abschnitt enthält eine gekürzte Wiedergabe der in Briefform gehaltenen Schrift „Die Pflanze im Momente der Tierwerdung, beobachtet von Dr. F. Unger, Wien 1843“.

grünen Rasen der Vaucheria clavata[1]) auf, und ich konnte nicht umhin, von diesen eine kleine Menge mit nach Hause zu nehmen.

Ich beginne mit der Beschreibung der Pflanze.

Die Vaucheria clavata erscheint in polsterförmigen Rasen am Grunde von Bächen und Flüssen, deren Bett seicht ist und von rasch strömendem Wasser bedeckt wird. Viele Tausende schwer von einander zu trennende Individuen bilden ein solches Polster, das dort, wo es an den Steinen und dergleichen aufsitzt, halb verfault ist und nur am äufseren Umfange fortgrünt.

Sucht man durch vorsichtiges Lostrennen aus solchen Polstern ein Individuum so vollständig wie möglich zu erhalten, so wird man finden, dafs dasselbe aus einem mehr oder weniger langen ungegliederten Schlauche besteht, der sich besonders gegen die Spitze zu in unregelmäfsig gestellte Zweige teilt. — Da diese Zweige von dem Hauptschlauche nicht durch Einschnürungen getrennt sind, sondern ohne Unterbrechung ineinander übergehen, also nur als Aussackungen des ursprünglichen Schlauches zu betrachten sind, so ist es begreiflich, dafs das ganze Pflänzchen eigentlich nur aus einem einzigen Schlauche oder einer Zelle besteht.

Untersucht man dieselbe genauer, so unterscheidet man den Inhalt von der umgrenzenden Zellhaut sehr deutlich.

Der am meisten in die Augen fallende Inhalt dieser Schläuche besteht aus mehr oder weniger grün gefärbten Kügelchen, welche ziemlich nahe an einander gedrängt an der Innenwand sitzen und sie hier gleichsam überziehen. Aufserdem findet sich im Innern der Vaucherien Pflanzenschleim.

Bringt man kleine Rasen in Gläsern unter, so ist man bei einer Temperatur, die 8—10° R. nicht übersteigen darf, imstande, die Fortpflanzung dieser Alge genau zu verfolgen.

Das erste, was man an solchen Rasen immer bemerkt, ist das Entstehen neuer hellgrüner Sprosse. Die Spitzen derselben enden stumpf abgerundet und sind mit Chlorophyllkügelchen bedeckt.

Sobald durch Querwandbildung ein Stück der Spitze von dem übrigen Schlauche getrennt ist, findet eine namhafte Verlängerung nicht mehr statt, sondern die ganze weitere Ausbildung besteht in einem Anschwellen. Anfänglich ist in dem Schlauchende ebenso wie in dem Stücke unter der Querwand ein ziemlich zäher

[1]) Die Gattung Vaucheria, welche etwa 30 darunter 15 deutsche Arten umfafst, gehört zu den Schlauchalgen. Letztere bestehen aus nur einer, meist sehr grofsen, verästelten Zelle. Die Vaucherien bilden verworrene Rasen, welche die Steine fliefsender Gewässer überziehen.

Zellinhalt vorherrschend, welcher seiner chemischen Beschaffenheit nach vorzüglich Pflanzenschleim ist. Daneben finden sich noch gröfsere, mehr oder weniger regelmäfsige Chlorophyllkörner zahlreich der Innenwand des Schlauches anliegend.

Aus diesem Material geht nach und nach das keulenförmige Ende und die aus demselben entstehende Spore hervor. Der erste Akt der Ausbildung dieser letzteren besteht in einer Verdichtung des schleimigen Zellinhaltes, sowie in einer Vermehrung der Chlorophyllkügelchen. Die wichtigste Rolle spielt hier offenbar der Schleim, der vielleicht mannigfaltige, noch nicht bekannte Veränderungen durchläuft und sich endlich in die Sporenhaut umwandelt.

Wenn Du mir bisher gefolgt bist, so kannst Du unmöglich Deine Erwartungen so hoch gespannt haben, dafs nicht dennoch das, was ich Dir weiter erzählen werde, selbst den kühnsten Flug der Phantasie überflügelte.

Mit einem Worte, es springt an der Spitze des Kolbens mit Blitzesschnelle der Schlauch auf, die Lappen des Risses legen sich zurück, und aus der engen Öffnung zwängt sich die Spore heraus[1]).

[1]) Zum besseren Verständnis dieses Vorgangs sowie der späteren Darstellung diene die nachfolgende Abbildung der Vaucheria sessilis aus Sachs, Lehrbuch der Botanik.

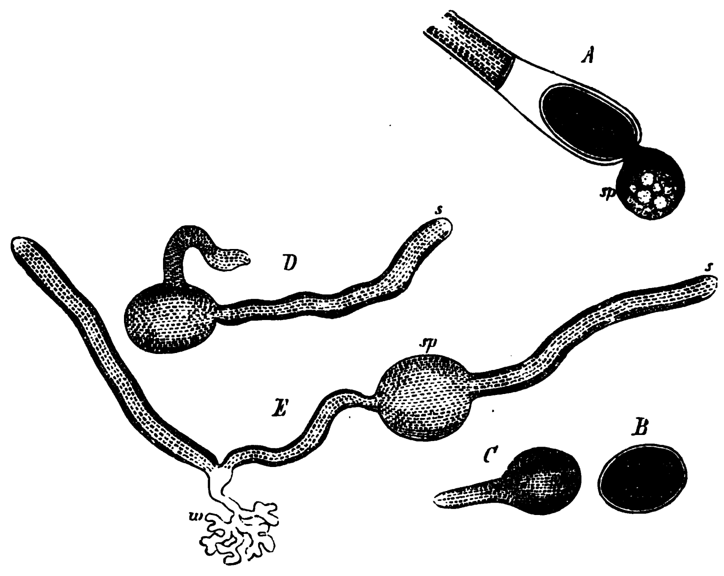


Fig. 48.

A stellt das Ausschlüpfen der Schwärmspore, C, D, E stellen die Keimung dar.

Kaum traut man seinen Augen, wenn man hierbei sieht, wie nach und nach ein immer gröfserer Teil und endlich die ganze offenbar selbständig heraustretende Spore die enge Hülle verläfst, in rascher Bewegung sich im Wasser erhebt und nach verschiedenen Richtungen, ähnlich einem Aufgufstierchen, umherkreist. Diese Entbindung der sich selbständig bewegenden Spore oder des Keimes unserer Pflanze ist so interessant und wichtig, dafs Du es mir schon zu gute halten wirst, wenn ich denselben etwas umständlicher beschreibe.

Schon einige Zeit vor der Lostrennung bemerkt man ein so bedeutendes Anschwellen der im Schlauche enthaltenen Spore, dafs die Querwand halbkugelförmig nach abwärts gedrückt wird. Gleichzeitig mit dieser Ausdehnung und Spannung der Querwand geht eine Verdünnung der Spitze des Schlauches in einer bestimmten Umgrenzung vor sich, die bei der fortdauernden Ausbildung und Vergröfserung der eingeschlossenen Spore notwendig ein Aufplatzen an der schwächsten Stelle zur Folge haben mufs.

Der bereits herausgetretene Teil der Spore ist während des Ausschlüpfens wegen der sich gleichbleibenden Enge der Öffnung stets durch eine Einschnürung von dem anderen Teile getrennt: Die austretende Spore erscheint daher unter der Form zweier mit einander verbundener kugelförmiger Körper, von denen der äufsere in dem Mafse wächst, als der noch eingeschlossene abnimmt. Nach der Entwicklung des ersten Drittels bemerkt man statt des früheren langsamen Hervorschiebens auf einmal ein Drehen der ganzen Spore um ihre Achse, was einen starken Wasserwirbel hervorbringt.

Dafs diese drehende Bewegung, die gleichmäfsig und ununterbrochen von statten geht, die Befreiung der Spore von der Hülle befördert, versteht sich von selbst. Diese Bewegung findet auch nach der Loslösung der Spore in derselben Art statt und unterstützt die fortschreitende Bewegung der Spore.

Der ganze Geburtsakt dauert in der Regel zwei Minuten. Bei gröfserer Öffnung der Schlauchspitze und bei einigen anderen minder wichtigen Nebenumständen kann derselbe bis zu einer Minute beschleunigt, andererseits aber auch auf drei und mehr Minuten ausgedehnt werden.

Unter ungünstigen Umständen, die ich noch nicht alle kenne, wovon aber einer eine allzugrofse Enge der Öffnung ist, bleibt die

Geburt der Spore unvollendet; die Drehbewegung hört auf, und ein bald gröfserer, bald kleinerer Teil bleibt in der Keule eingeklemmt zurück.

Sobald die Spore sich frei gemacht und den engen Mutterschlauch verlassen hat, erhebt sie sich in mehr oder minder raschen Bewegungen, wenngleich mit öfteren Unterbrechungen nach aufwärts, bis sie die Oberfläche des Wassers erreicht hat. Diese Bewegungen sind indes so mannigfaltig und zugleich den Bewegungen mancher Infusorien so ähnlich, dafs ich nicht umhin kann, Dich noch einen Augenblick damit zu unterhalten.

Während einige Schwärmsporen nach dem Momente des Losreifsens sich lustig drehend in die Höhe steigen, die Wasserfläche erreichen, umkehren und fast ebenso rasch wieder nach abwärts fahren, äufsern andere anfänglich nur unbedeutende Schwankungen, wobei sie von dem Niveau, welches der Fruchtschlauch im Wasser einnimmt, sich nur wenig entfernen. Plötzlich aber erheben sie sich rasch und durchziehen oft eine Wasserschicht von 2 Zoll Höhe in weniger als drei Minuten. Höchst auffallend ist es, wie sie bei diesen Bewegungen sorgfältig alle Hindernisse vermeiden, wie geschickt sie durch das Gewirre der Sprossen der Vaucheria ziehen und sich gegenseitig bei Begegnungen ausweichen, daher auch nie ein An- oder Zusammenstofsen stattfindet.

Diese Beobachtungen machte ich in 6 Zoll langen, fingerdicken, sehr dünnwandigen Glasgefäfsen, in welche ich kleinere Stücke der Vaucheria einige Zoll tief eintauchte. Ich brauchte meist nur wenige Tage zu warten, bis die neu entstandenen, freudig grünen Sprosse an ihren Enden die obenbeschriebenen Keulen bildeten, aus denen sich dann jene beweglichen Schwärmsporen entwickelten.

Diese Gläser befestigte ich an einem nach Norden gelegenen Fenster, sodafs ich alles bequem mit der Lupe betrachten konnte, ohne die Gläser dabei im geringsten zu bewegen.

Ich mufs gestehen, dafs diese Vorgänge, welche nach einander in einer Stunde oft zu Dutzenden stattfanden, dafs die mannigfaltigen Bewegungen, das Auf- und Absteigen, das Wälzen, Hin- und Herschwanken, das Ruhen und Wiederanheben so vieler kleiner dem freien Auge nur wie Pünktchen erscheinender Wesen ein Schauspiel ist, das mich nicht nur in stummes Erstaunen, sondern in ein begeistertes Entzücken versetzte. Oft rief ich die mir zunächst stehenden Personen herbei, damit sie sich auch von diesem Wunder überzeugten. Ganz vorzüglich lenkte ich meine Aufmerk-

samkeit darauf, auf welche Weise sowohl die drehenden wie die fortschreitenden Bewegungen bewirkt werden.

Ein Körper wie derjenige der Schwärmspore, der bei nur einigermafsen starker Vergröfserung schon einen bedeutenden Umfang zeigt, liefs mich erwarten, um so eher der wahren Ursache der Bewegung auf die Spur zu kommen, zumal ich überzeugt war, dafs einer so auffallenden Wirkung auch eine wie immer in die Sinne springende Ursache zu Grunde liegen müsse. Starke Vergröfserungen waren ungeachtet der grofsen Deutlichkeit des Gegenstandes dennoch nicht ausreichend, um über den fraglichen Punkt Aufschlufs zu gewinnen. Die raschen Bewegungen entfernten die Schwärmspore immer zu schnell von den Augen des Beobachters, doch konnte man immerhin so viel wahrnehmen, dafs bedeutende Zusammenziehungen des Körpers diese Bewegungen nicht hervorbrachten.

Ich gab nun sehr fein zerteilte Farbstoffe zu dem Tropfen Wasser, in welchem sich die Schwärmsporen befanden, und brachte ihn unter das Mikroskop. Die wirbelnde Bewegung, mit welcher die kleinen Farbteilchen umhergeschleudert wurden, liefs eine ungemein grofse Verwandtschaft mit ähnlichen Erscheinungen, wie sie die meisten Infusorien darbieten, nicht verkennen. Bei Anwendung starker Vergröfserungen fiel mir erst auf, dafs die Farbteilchen die Oberfläche der Schwärmsporen durchaus nicht berührten, ja ich bemerkte jetzt auch, dafs die fortschreitenden, sowie die drehenden Bewegungen schon lange aufgehört haben können, ohne dafs das Wasser und die in ihm schwebenden Teilchen zur Ruhe kommen. Zugleich kam es mir so vor, als würden von einer freilich nicht sichtbaren, die Schwärmspore umgebenden Zone die dahin gelangenden Farbteilchen weggeschleudert, und einige Male glaubte ich selbst eine geisterhafte Bewegung an dieser Stelle wahrzunehmen. Dieses Gespenst, dachte ich, wirst Du doch zu bannen imstande sein, und griff nach einem Fläschchen mit wässeriger Jodlösung. Kaum hatte ich etwas davon auf mein Objekt gebracht, so hörte die Bewegung auf, und das Gespenst, das mich so lange neckte, war ertappt. Es waren — was denkst Du wohl, lieber Freund? — es waren nichts anderes als eine unzählige Menge feiner Wimpern, die in den ersten Augenblicken nach der Berührung mit dem Gifte noch einige schwache Pendelbewegungen und Krümmungen versuchten und dann für immer bewegungslos stille standen.

„Also Wimpern an der Oberfläche des Körpers der schwimmenden Sporen von Vaucheria clavata und Flimmerbewegung die Ursache der Bewegungen dieser Körper?!“ so höre ich Dich verwundert ausrufen. „Welch seltsame Vereinigung tierischer Organe mit dem Grundgebilde, mit der Zelle einer Pflanze!“

Die Beweglichkeit einer solchen Schwärmspore und alles, was daran geknüpft ist, ist indes von sehr beschränkter Dauer. Hat man sie von ihrer Geburt an unablässig mit dem Auge verfolgt, was nicht so grofse Anstrengung als Geduld erfordert, so wird man finden, dafs nach Verlauf von zwei Stunden die Bewegungen häufiger unterbrochen werden, und dafs diese Pausen der Ruhe, in denen zwar Achsendrehung, aber keine Ortsveränderung stattfindet, immer länger werden. Die Schwärmspore hält sich nunmehr an der Oberfläche des Wassers auf und zwar um so lieber, je dichter das Wasser von kleinen Körperchen bedeckt ist. Diesen nähert sich die bewegliche Schwärmspore immer mehr und ruht an ihnen aus, ohne dafs diese Ruhe noch einmal in Bewegung überginge.

Die straffe, glasartig durchsichtige Haut der Schwärmspore wird weniger durchsichtig, die Wimpern, die man früher nicht zu unterscheiden imstande war, erscheinen jetzt am Umfange des Körpers als feine Härchen, welche bewegungslos abstehen. Endlich verschwinden alle Wimpern so plötzlich, dafs man unmöglich mit dem Auge verfolgen kann, wohin sie kommen. Ich vermute, dafs sie nicht abgestofsen, sondern eingezogen werden.

Mit diesen Erscheinungen schliefst die Schwärmspore ihr kurzes tierisches Dasein und beginnt nun eine Reihe von Veränderungen, die sie in diejenige Welt zurückführen, aus der sie gekommen ist. Haben die Bewegungen ihr Ende gefunden, so fährt das pflanzliche Leben fort, den scheinbar abgerissenen Faden in einer Reihe von Erscheinungen fortzuführen, die vorzugsweise die Vergröfserung und das Wachstum bezwecken. Der erste Akt dieses neuen Lebensspieles ist das Keimen, das ich nun hier etwas näher betrachten will.

Es tritt eine Vergröfserung der kugelförmigen Schwärmspore in der Art ein, dafs an einer oder an zwei einander zuweilen gegenüberliegenden Stellen (Fig. 48, D) Fortsätze hervorbrechen, womit die eigentliche Keimung beginnt. Interessant ist, wie sich schon ein Gegensatz von Stamm und Wurzel teils während, teils nach dem Keimen auszubilden sucht, wenngleich die Wurzel mehr als Haftorgan denn als Organ der Einsaugung sich zu erkennen giebt. Entweder tritt dieser Gegensatz gleich anfänglich beim Keimen

ein, indem sich zwei Fortsätze entwickeln, von welchen einer zum Stamme, der andere zur Wurzel wird. Oder es entwickelt sich ein Fortsatz, von welchem erst ein Zweig sich zur Wurzel ausbildet (siehe Fig. 48 w).

Was die Form und Beschaffenheit der Haftorgane anbetrifft, so bestehen sie aus einem von der kugelförmigen Schwärmspore ausgehenden, meist sehr kurzen Schlauche, der in der Dicke dem stammbildenden Schlauche wenig nachgiebt, aber durch seine Krümmungen und durch den geringeren Gehalt an Chlorophyll sich von jenem hinreichend unterscheidet. Aus diesem anfänglich einfachen, blind endenden Schlauche entspringen in kurzer Zeit kleine, meist wiederholt verzweigte, blind endende, an der Spitze fast ungefärbte Fortsätze. Diese meist gedrängt stehenden Wurzelzweige legen sich an jede, selbst die unbedeutendste ihnen entgegenstehende Erhöhung knapp an und befestigen das Pflänzchen so gut an irgend eine Unterlage, dafs eine Trennung ohne eine Verletzung kaum möglich ist.

Nach 14 Tagen, zuweilen früher, bemerkt man an dem stammartigen Fortsatze schon eine Anschwellung, die sich bald zur Keule entwickelt und auf dieselbe Weise wie an der Mutterpflanze die Entstehung einer sich frei bewegenden Schwärmspore zur Folge hat.

Der ganze Kreislauf des Lebens dieses sonderbaren Gewächses ist somit eine Reihe fortwährender Wechselerscheinungen, die bald im Kreise eines tieferen, bald im Kreise eines höheren Bereiches spielen und diesem Wesen dadurch eine Doppelnatur verleihen, wie das bisher noch nicht beobachtet ist.

---

59. Darwin erklärt die Bildung der Koralleninseln.

Ch. Darwin, Tagebuch über die naturgeschichtliche und geologische Erforschung der Länder, welche während der Weltumsegelung J. M. S. Beagle besucht wurden. 1836[1].

Charles Robert Darwin wurde am 12. Februar 1809 geboren, studierte in Edinburg und Cambridge und durchforschte von 1831—1836 Südamerika und die Inselwelt des Stillen Oceans. Nach England zurückgekehrt widmete er sich ganz seinen Forschungen, die eine neue Ära auf vielen Wissensgebieten eröffneten. Das von Darwin während seiner Weltumsegelung geführte Tagebuch kann als Muster einer wissenschaftlich gehaltenen und doch fesselnd geschriebenen Reisebeschreibung gelten. Darwin starb am 19. April 1882 und wurde in der Westminsterabtei beigesetzt. Näheres über ihn siehe Bd. II. d. Grdr. (1. Aufl.) S. 399 u. f.

1. April 1836. Wir gelangten in Sicht der Kokosinsel, welche im Indischen Ocean etwa 600 Meilen von der Küste Sumatras entfernt gelegen ist. Es ist dies eine aus Korallen gebildete Laguneninsel oder ein Atoll. Das ringförmige Riff derselben ist in dem größten Teile seiner Längsausdehnung von winzigen Inselchen überragt. Das seichte, klare und ruhige Wasser der Lagune wird überall von der dunklen wogenden Wassermasse des Oceans durch einen Gürtel schneeweißer Brandung getrennt.

Den nächsten Morgen, nachdem wir vor Anker gegangen waren, begab ich mich nach einem dieser Inselchen. Der Streifen trockenen Landes besitzt nur wenige hundert Ellen Breite. Auf der Lagunenseite befand sich ein weißer Kalkstrand, auf welchem der Sonnenprall unter dem herrschenden schwülen Klima sehr lästig war.

Die äußere Küste erwies sich als eine feste breite Fläche aus Korallenfels, welche imstande war, die Gewalt der offenen See zu brechen. Außer in der Nähe der Lagune, wo sich etwas San

---

[1] XX. Kapitel von Darwins Journal of Researches into the Natural History and Geology of the countries visited during the voyage of H. M. Beagle round the world. New Edition, London 18[illegible]. Übersetzt von F. Dannemann.

d, bestand der Boden gänzlich aus abgerundeten Korallen-
cken.

Auf solch einem lockeren, trockenen, steinigen Grunde konnte
: das Klima der heifsen Zone eine üppige Vegetation entstehen
sen. Vom naturgeschichtlichen Standpunkte besitzen diese Inseln
les wegen ihrer aufserordentlichen Armut an Arten ein hervor-
;endes Interesse. Der Kokosnufsbaum scheint auf den ersten
ick den gesamten Wald zu bilden; jedoch kommen noch 5 oder
andere Bäume vor. Aufser diesen ist die Zahl der Pflanzen-
;en sehr gering und auf unwichtige Kräuter beschränkt. In
iner Sammlung, welche, wie ich glaube, annähernd die gesamte
ɔra umfafst, befinden sich 20 Arten neben einem Moos, einer
echte und einem Pilz. Da die Inseln ganz aus Korallen be-
hen und einst als blofse vom Wasser überspülte Riffe bestanden
ben werden, so müssen alle landbewohnenden Lebewesen, die
h jetzt dort finden, auf den Wogen des Meeres herbeigeführt
rden sein. In Übereinstimmung damit entspricht die Flora ganz
m Charakter der Insel als einer Zufluchtsstätte. Die zwanzig
ten gehören nämlich 19 verschiedenen Gattungen an und letztere
eder nicht weniger als 16 Familien [1]).

Die Liste der Landtiere ist sogar noch ärmer als diejenige
r Pflanzen. Einige der Inselchen werden von Ratten bewohnt,
lche von einem Schiff herrühren, das hier strandete. Von Rep-
ien fand ich nur eine kleine Eidechse. Ich gab mir Mühe, jedes
sekt zu sammeln und stellte die Anwesenheit von 13 Arten fest.
innen waren dagegen zahlreich vertreten. Eine kleine Ameise
hwärmte zu Tausenden unter den lockeren, trocknen Korallen-
öcken umher und war das einzige Insekt, welches häufig war.
e langen Landstreifen, aus welchen die gestreckten Inselchen
stehen, erheben sich nur zu derjenigen Höhe, bis zu welcher die
andung Korallenstücke emporschleudern und der Wind den Kalk-
nd anhäufen kann. Der feste, aus Korallenriffen gebildete Grund
ı der Aufsenseite bricht vermöge seiner Breite den ersten Anprall
r Wogen, die sonst an einem Tage die Inselchen mit all ihren
ewohnern hinwegfegen würden. Meer und Land scheinen hier
m die Herrschaft zu kämpfen. Wenn auch das Land einen Platz
rungen hat, so halten doch die Bewohner des nassen Elementes
re Ansprüche für zum wenigsten ebenso berechtigt. Überall

[1]) Diese Pflanzen wurden in den „Annals of Natural History" 1838,
ag. 337 beschrieben.

begegnet man Einsiedlerkrebsen, und über unseren Häuptern haben sich zahlreiche Rotgänse, Fregattenvögel und Seeschwalben auf den Bäumen niedergelassen.

Der Ocean schont durchaus nicht den Korallenfelsen. Grofse über das Riff zerstreute und auf den Strand geschleuderte Bruchstücke, zwischen denen die schlanken Kokosbäume hervordringen, sprechen deutlich für die unwiderstehliche Kraft der Wogen. Da giebt es keinen Augenblick der Ruhe. Die lange Dünung, durch den zwar mäfsigen, aber beständig wehenden Passat erzeugt, welcher immer in einer Richtung über die gewaltige Wasserfläche bläst, ruft eine Brandung hervor, die an Kraft der in gemäfsigten Zonen durch einen Sturm erzeugten Brandung fast gleich kommt. Dabei hört dieselbe niemals auf zu wüten. Man kann diese Wogen nicht ansehen ohne das Gefühl der Überzeugung, dafs eine Insel, möge sie auch aus dem härtesten Granit oder Quarz bestehen, schliefslich nachgeben und durch eine solch unwiderstehliche Kraft vernichtet werden müsse. Dennoch halten diese niedrigen, unbedeutenden Koralleninseln stand, ja gehen als Sieger aus dem Kampfe hervor. Gegen die Gewässer ergreift nämlich eine zweite Macht Partei in diesem Streite. Das organische Leben sondert die Molekeln des kohlensauren Kalkes eine nach der andern von den schäumenden Wellen und baut sie zu einem symmetrischen Gebilde auf. Mag dann der Orkan auch tausende von Blöcken losreifsen! Was will das heifsen gegen die Summe von Arbeit, welche Milliarden kleiner Baumeister verrichten, die Tag und Nacht, einen Monat wie den andern, ununterbrochen thätig sind? So sehen wir den weichen gelatinösen Leib eines Polypen vermöge der Wirkung der Lebensgesetze die gewaltige mechanische Kraft besiegen, welche den Wogen des Meeres innewohnt, eine Kraft, der weder die Kunst des Menschen, noch die leblosen Werke der Natur erfolgreich Widerstand zu leisten vermögen.

12. April. Wir verliefsen morgens die Lagune, um unsere Reise nach Isle de France fortzusetzen. Ich freue mich, dafs wir diese Inseln besucht haben. Derartige Bildungen gehören sicherlich zu den wunderbarsten Erscheinungen der Welt. Der Kapitän fand mit einem Lot von 7200 Fufs Länge keinen Grund, als wir nur 2200 Ellen von der Küste entfernt waren. Die Insel besteht also aus einem hohen unterseeischen Berg, dessen Abhänge steiler sind als diejenigen der abschüssigsten vulkanischen Kegel.

Ich will jetzt eine kurze Beschreibung der drei grofsen Klassen von Korallenriffen, nämlich der Atolls, der Barriereriffe und der

Strandriffe, geben und meine Ansichten über ihre Bildung entwickeln. Fast jeden Reisenden, der den Stillen Ocean durchfuhr, haben die Laguneninseln oder die Atolls, wie ich sie mit ihrem indischen Namen nennen werde, in das höchste Erstaunen gesetzt und zu einem Erklärungsversuch veranlafst. Die beifolgende Skizze der Whitsunday-Insel[1]) im Stillen Ocean (Fig. 49) giebt uns eine ungefähre Vorstellung von dem sonderbaren Anblick eines solchen Atolls. Es ist eins der kleinsten, und die Inselchen, die es bilden,



Fig. 49. Ansicht der Koralleninsel Whitsunday-Island[2]).

haben sich zu einem Ringe zusammengeschlossen. Die Unermefslichkeit des Oceans und die Wut der Brandung bilden gegenüber der geringen Erhebung des Landes und der Ruhe des glänzenden grünen Wassers im Innern der Lagune einen Gegensatz, den man sich kaum vorstellen kann, wenn man ihn nicht kennen gelernt hat. Die älteren Reisenden glaubten, die Korallenbauten aufführenden Geschöpfe würden durch den Instinkt veranlafst, grofse Ringwälle zu errichten, um sich dadurch auf der inneren Seite einen Schutz zu verschaffen. Diese Erklärung trifft den wahren Sachverhalt aber durchaus nicht. Die kräftigen Korallenarten nämlich, von deren Wachstum an der ausgesetzten äufseren Seite das Bestehen des Riffes eigentlich abhängt, können im Innern der Lagune gar nicht leben.

Eine Erklärung, welche am meisten Anklang gefunden hat, ist die, dafs die Atolls auf unterseeischen Kratern errichtet seien. Wenn wir indes die Gestalt und Ausdehnung einiger Atolls sowie die Zahl und die Lage anderer betrachten, so erscheint

---

1) Pfingstsonntaginsel.

2) Aus Darwins Journal of researches during the voyage round the world. London 1870. S. 466.

eine solche Erklärung nicht mehr stichhaltig. Ein Atoll besitzt z. B. einen Durchmesser von 44 Meilen in der einen und 34 Meilen in der anderen Richtung. Ein anderes Atoll ist 30 Meilen lang und durchschnittlich nur 6 breit. Diese Theorie läfst sich ferner unmöglich auf die nördlichen Malediven im Indischen Ocean anwenden. Letztere sind nämlich nicht wie gewöhnliche Atolls durch schmale Riffe verbunden, sondern aus einer grofsen Anzahl getrennter Atolls zusammengesetzt, während aus den grofsen in der Mitte gelegenen lagunenartigen Binnenräumen andere kleine Atolls sich erheben.

Es wurden zahlreiche sorgfältig ausgeführte Lotungen an der steilen Aufsenseite der Kokosinsel angestellt. Dabei zeigte es sich, dafs innerhalb der Tiefe von 10 Faden die den Boden des Bleilotes ausfüllende Talgmasse beim Emporheben jedesmal Eindrücke von lebenden Korallen aufwies und so vollkommen rein war, als ob das Lot auf einen Rasenteppich hinabgelassen worden wäre. Mit zunehmender Tiefe wurden die Abdrücke weniger zahlreich, dafür nahmen die hängen gebliebenen Sandteilchen mehr und mehr zu, bis es zuletzt augenscheinlich war, dafs der Grund aus einem glatten Sandlager bestand. Aus diesen von vielen anderen bestätigten Beobachtungen kann mit Sicherheit geschlossen werden, dafs die äufserste Tiefe, bis zu welcher die Korallen ihre Riffe bauen können, zwischen 20 und 30 Faden liegt. Nun giebt es ungeheure Räume im Stillen und im Indischen Ocean, wo jede Insel eine Korallenbildung vorstellt und nur zu einer Höhe emporragt, bis zu welcher die Wogen Bruchstücke aufwerfen und der Wind den Sand anhäufen kann. Aus der Thatsache, dafs die riffbildenden Korallen nicht in gröfseren Tiefen leben können, geht aber mit Bestimmtheit hervor, dafs innerhalb weiter Meeresflächen, wo immer jetzt ein Atoll vorhanden ist, ein ursprüngliches Fundament innerhalb einer Tiefe von 20—30 Faden unter der Oberfläche vorhanden gewesen sein mufs. Es ist nun im höchsten Grade unwahrscheinlich, dafs breite hohe einzeln stehende und steile Ablagerungen, in Gruppen und Linien von vielen Meilen Länge geordnet, an den tiefsten Stellen des Stillen und Indischen Oceans, weit entfernt von jedem Kontinent und zwar da, wo das Wasser vollkommen klar ist, entstanden sein könnten. Ebenso unwahrscheinlich ist es, dafs die gebirgsbildenden Kräfte innerhalb ausgedehnter Gebiete ungezählte gewaltige Felskuppen bis zu dem Niveau von 20—30 Faden unter der Oberfläche des Meeres emporgehoben haben sollten und nicht eine einzige Stelle über diese Höhe hinaus. Wo giebt es auf

der ganzen Erde auch nur eine einzige Bergkette von mehreren hundert Meilen Länge, deren Gipfel nur um wenige Fuſs von einem gegebenen Niveau abwichen, so daſs kein einziger dasselbe überschritte?

Bevor wir erklären, wie atollartige Riffe ihren eigentümlichen Bau erhalten haben, müssen wir uns der groſsen Gruppe der Barriereriffe zuwenden. Dieselben erstrecken sich entweder in geraden Linien gegenüber den Küsten eines Kontinents oder einer groſsen Insel, oder sie umschlieſsen kleinere Inseln. In beiden Fällen sind sie vom Lande durch einen breiten, ziemlich tiefen Kanal getrennt, welcher der Lagune im Innern eines Atolls entspricht.

Es ist sonderbar, wie wenig Aufmerksamkeit man den ringförmigen Barriereriffen gezollt hat, die doch wirklich wunderbare Bildungen sind. Die nachstehende Skizze stellt einen Teil des Riffes dar, welches die Insel Bolabola im Stillen Ocean umgiebt, gesehen von einem der den mittleren Teil bildenden Berggipfel.



Fig. 50. Die Insel Bolabola im Stillen Ocean[1]).

In diesem Falle ist die gesamte Linie des Riffes in Land verwandelt worden. In der Regel trennt nur eine schneeweiſse Linie brandender Wellen, hier und dort durch ein niedriges, mit Kokosnuſsbäumen gekröntes Inselchen unterbrochen, die dunklen schwellenden Gewässer des Oceans von der hellgrünen Fläche des Kanals. Das ruhige Wasser des letzteren umspült gewöhnlich einen Saum von niedrigem, angeschwemmten Land, der mit den lieblichsten Erzeugnissen der Tropen bedeckt ist, während darüber das wilde, steile Gebirge des mittleren Teils der Insel sich erhebt.

[1]) Aus Darwins Journal of researches during the voyage round the world. London 1780. S. 469.

Ringförmige Barriereriffe giebt es in jeder Gröfse, von 3 bis nicht weniger als 44 Meilen Durchmesser. Dasjenige, welches Neu-Kaledonien auf einer Seite gegenüberliegt und seine beiden Enden einschliefst, ist sogar 400 Meilen lang. Jedes derartige Riff umgiebt eine, zwei oder mehr felsige Inseln von verschiedener Höhe und läuft in gröfserer oder geringerer Entfernung dem eingeschlossenen Lande parallel. Bei den Gesellschaftsinseln beträgt die Entfernung gewöhnlich 1—3 oder 4 Meilen; bei einer anderen nicht zu dieser Gruppe gehörenden Insel[1]) ist das Riff dagegen auf der Südseite 20, auf der Nordseite 14 Meilen von dem eingeschlossenen Lande entfernt. Die Tiefe des Kanals ist gleichfalls sehr verschieden; durchschnittlich wechselt sie zwischen 10 und 30 Faden. Auf der inneren Seite fällt das Riff entweder allmählich zum Kanal ab, oder es endet mit einer senkrechten Wand. Auf der Aufsenseite dagegen erhebt es sich gleich einem Atoll mit äufserst steilen Abhängen aus den tiefen Gründen des Weltmeers. Was kann merkwürdiger sein als diese Bildungen? Man hat mit Recht bemerkt, dafs eine von einem ringartigen Riff eingeschlossene Insel ein Atoll ist, aus dessen Lagune hohes Land emporragt. Entfernt man das Land aus der Mitte, so bleibt ein vollkommenes Atoll zurück.

Wir kommen nun zur dritten Klasse der Saumriffe. Wo das Land sich steil unter das Wasser senkt, sind derartige Riffe nur einige Ellen breit und bilden einen blofsen Rand oder Saum rings um die Küste. Wo hingegen das Land allmählich abfällt, ist das Riff ausgedehnter und erstreckt sich mitunter sogar eine Meile weit vom Lande fort. In solchen Fällen zeigen aber die Lotungen an der Aufsenseite des Riffes immer, dafs die unterseeische Fortsetzung des Landes sanft geneigt ist. In der That, das Riff erstreckt sich nur bis zu derjenigen Entfernung von der Küste, innerhalb welcher eine Grundlage in der erforderlichen Tiefe von 20—30 Faden vorhanden ist. Da die Korallen kräftiger an der Aufsenseite wachsen, und die nach innen gespülten Ablagerungen einen schädlichen Einflufs ausüben, so ist der äufsere Rand des Riffes der höchste Teil, und zwischen diesem und dem Lande befindet sich gewöhnlich ein seichter sandiger Kanal von einigen Fufs Tiefe.

Keine Theorie über die Bildung der Korallenriffe kann als erschöpfend angesehen werden, wenn sie nicht allen drei Klassen dieser Bildungen Genüge leistet. Gehen wir von einer mit einem

[1]) Der zu den Karolinen gehörenden Insel Hogolu.

Saumriff umgebenen Insel aus, deren Bau keine Schwierigkeiten aufweist. Man nehme jetzt an, dafs diese Insel mit ihrem Riff sich langsam senkt. In dem Mafse, wie dies geschieht, wird die lebende Masse, die sich am Rande des Riffes in der Brandung badet, die Oberfläche wieder gewinnen. Das Wasser wird indessen Schritt für Schritt an der Küste emporsteigen, so dafs die Insel niedriger und kleiner, und dementsprechend der Kanal zwischen dem inneren Rande des Riffes und der Küste breiter wird. Hätten wir an Stelle der Insel die Küste eines von einem Strandriff umgebenen Kontinents angenommen und uns vorgestellt, dafs dieser gesunken sei, so würde ohne Zweifel ein gewaltiges gestrecktes Barriereriff, vom Lande durch einen breiten tiefen Meeresarm getrennt, entstanden sein, wie es bei Australien und Neu-Kaledonien der Fall ist. Sinkt das Barriereriff langsam abwärts, so werden die Korallen fortfahren, kräftig aufwärts zu wachsen; in dem Mafse aber, wie die Insel sinkt, wird das Wasser Zoll für Zoll die Küste erobern, die Bergspitzen, welche zuerst getrennte Inseln innerhalb des Riffes bildeten, werden verschwinden, bis endlich der letzte und höchste Gipfel untertaucht. In dem Augenblick, wo dies eintritt, hat sich ein vollkommenes Atoll gebildet.

Man kann fragen, ob sich irgend ein direktes Anzeichen für das Untertauchen der Barrieriffe oder Atolls nachweisen läfst; doch darf man nicht aufser Acht lassen, wie schwierig es immer sein mufs, eine Bewegung zu entdecken, welche darauf hinausläuft, den davon betroffenen Teil unter dem Wasser zu verbergen. Nichtsdestoweniger beobachtete ich auf der Kokosinsel an allen Ufern der Lagune alte unterwühlte und im Fallen begriffene Kokosnufsbäume und an einer Stelle die Grundpfeiler eines Schuppens, der nach Aussage der Bewohner vor 7 Jahren gerade über der Hochwassermarke gestanden hatte, jetzt aber täglich von der Flut bespült wurde.

Es ist offenbar, dafs unserer Theorie gemäfs Küsten, welche nur Saumriffe besitzen, sich nicht in nennenswertem Mafse gesenkt haben können; sie müssen seit dem Wachstum ihrer Korallen entweder im Zustande der Ruhe oder der Aufwärtsbewegung gewesen sein. Es ist nun bemerkenswert, wie allgemein sich durch das Vorhandensein über dem Wasserspiegel befindlicher organischer Überreste nachweisen läfst, dafs die mit Saumriffen versehenen Inseln emporgehoben worden sind. Dies ist ein indirekter Beweis zu Gunsten unserer Theorie.

Man hat mit Erstaunen bemerkt, dafs Atolls, obgleich sie die

gewöhnlichsten Korallenbauten in einigen ausgedehnten oceanischen Gebieten sind, in anderen Meeren gänzlich fehlen, wie z. B. in Westindien. Wir werden jetzt sofort den Grund einsehen. Wo nämlich keine Senkung stattfindet, konnten sich auch keine Atolls bilden; und was Westindien und gewisse Teile Ostindiens anbelangt, so ist von diesen Gebieten bekannt, dafs sie sich in der neuesten geologischen Epoche im Zustande der Erhebung befunden haben.

Wir erblicken also in jedem Barriereriff einen Beweis dafür, dafs sich das Land daselbst gesenkt hat, und in jedem Atoll ein über einer untergegangenen Insel errichtetes Denkmal. Wir vermögen dergestalt, ähnlich einem Geologen, der die verflossenen Perioden erlebt hätte und über die stattgefundenen Veränderungen berichten würde, einige Einsicht in das grofse System zu gewinnen, nach welchem die Erdrinde geborsten ist, und Land und Wasser abgewechselt haben.

---

60. Carnot entwickelt eine Theorie der Dampfmaschine. 1824.

Betrachtungen über die bewegliche Kraft des Feuers von S. Carnot[1]).

Sadi Carnot, der zweite Sohn des grofsen Carnot der französischen Revolution, wurde 1796 in Paris geboren, empfing seine Ausbildung auf der École polytechnique und trat dann in die Armee ein, starb aber schon 1833 an der Cholera. In seinen Betrachtungen über die bewegende Kraft des Feuers zeigte er sich als ein Vorläufer von R. Mayer, Joule und Helmholtz, den Begründern der mechanischen Wärmetheorie. Hier folgt eine abgekürzte Wiedergabe der Einleitung, in welcher der Grundgedanke Carnots zum Ausdruck gelangt.

---

1) Betrachtungen über die bewegende Kraft des Feuers und die zur Entwicklung dieser Kraft geeigneten Maschinen von S. Carnot. Übersetzt und herausgegeben von W. Ostwald. Ostwalds Klassiker der exakten Wissenschaften Nr. 37. Leipzig, Verlag von Wilhelm Engelmann 1892. Der Titel des Originals lautet: Réflexions sur la puissance motrice du feu et sur les machines propres à développer cette puissance par S. Carnot. Paris 1824.

Jeder weifs, dafs die Wärme die Ursache der Bewegung sein kann, dafs sie sogar eine bedeutende bewegende Kraft besitzt; die heute so verbreiteten Dampfmaschinen beweisen dies für jedermann. Der Wärme müssen auch die grofsen Bewegungen zugeschrieben werden, welche uns auf der Erdoberfläche ins Auge fallen; sie verursacht die Strömungen der Atmosphäre, den Aufstieg der Wolken, den Fall des Regens, die Wasserströme, welche die Oberfläche des Erdballs furchen, und von denen der Mensch einen kleinen Teil für seinen Gebrauch nutzbar zu machen gewufst hat. Auch Erdbeben und vulkanische Ausbrüche haben gleichfalls die Wärme zur Ursache.

Aus diesem ungeheuren Vorrat können wir die für unsere Bedürfnisse erforderliche bewegende Kraft schöpfen. Indem die Natur uns allerorten Brennmaterial liefert, hat sie uns die Möglichkeit gegeben, stets und überall die Wärme und die aus dieser hervorgehende bewegende Kraft zu erzeugen. Der Zweck der Wärmemaschinen besteht darin, diese Kraft zu entwickeln und sie unseren Zwecken anzupassen.

Das Studium dieser Maschinen ist von höchstem Interesse, denn ihre Wichtigkeit ist ungeheuer, und ihre Anwendung steigert sich von Tag zu Tag. Sie scheinen bestimmt zu sein, eine grofse Umwälzung in der Kulturwelt zu bewirken. Schon beutet die Dampfmaschine unsere Bergwerke aus, sie bewegt unsere Schiffe, vertieft unsere Häfen und Flüsse, schmiedet das Eisen, gestaltet das Holz, mahlt das Getreide, spinnt und webt unsere Stoffe, schleppt die schwersten Lasten herbei u. s. w. Sie scheint eines Tages der allgemeine Motor werden zu sollen, welcher den Vorzug vor den Kräften der Tiere, dem Fall des Wassers und den Strömen der Luft erhält. Dem erstgenannten Motor gegenüber bietet sie den Vorteil der Billigkeit, den anderen gegenüber den unschätzbaren Vorzug, immer und überall anwendbar zu sein und niemals ihre Arbeit zu unterbrechen.

Werden einst die Verbesserungen der Dampfmaschine weit genug gediehen sein, um sie weniger kostspielig in der Anlage und bezüglich des Brennmaterials zu machen, so wird sie der Industrie einen Aufschwung ermöglichen, dessen Ausdehnung schwer vorauszusehen ist. Denn es wird nicht nur für die jetzt gebräuchlichen Motoren ein kraftvoller und bequemer Motor eintreten, den man überall erlangen und hinschaffen kann, sondern derselbe wird den Gewerben, in denen er angewendet wird, eine rasche Entwicklung verschaffen, ja er kann ganz neue Gewerbe entstehen lassen.

Der ausgezeichnetste Dienst, welchen die Dampfmaschine England geleistet hat, ist zweifelsohne die Wiederbelebung des Steinkohlenbergbaus, welcher dahinsiechte und infolge der stets wachsenden Schwierigkeiten der Wasserhaltung und Förderung unterzugehen drohte. Man darf behaupten, dafs seit der Erfindung der Wärmemaschinen sich die Förderung der Steinkohle in England verzehnfacht hat. Ungefähr das gleiche gilt für die Gewinnung von Kupfer, Zinn und Eisen. Die vor einem halben Jahrhundert durch die Dampfmaschine auf die Bergwerke Englands hervorgebrachte Wirkung wiederholt sich heute an den Gold- und Silberminen der neuen Welt, deren Ausbeutung sich von Tag zu Tag, namentlich infolge der ungenügenden Beschaffenheit der Wasserhaltungs- und Förderungsmaschinen verminderte. In zweiter Linie müssen die der Eisenindustrie geleisteten Dienste erwähnt werden, sowohl bezüglich des reichlichen Ersatzes des Holzes, das soeben anfing, sich zu erschöpfen, wie auch bezüglich der Kraftmaschinen aller Art, deren Anwendung die Dampfmaschine erleichtert oder erst ermöglicht hat.

Eisen und Feuer sind bekanntlich die Nahrung und die Stütze der mechanischen Gewerbe. In England ist vielleicht keine einzige Fabrik, deren Bestehen nicht auf den Gebrauch dieser Mittel begründet wäre, und in welcher sie nicht reichlich zur Verwendung kämen. Entzöge man England heute seine Dampfmaschinen, so raubte man ihm Kohle und Eisen, man würde damit alle Quellen seines Reichtums hemmen und alle Mittel seiner Entwicklung vernichten; es hiefse dies, jene kolossale Macht zu Grunde zu richten. Die Zerstörung seiner Marine, welche es als seinen sichersten Schutz betrachtet, würde für England vielleicht weniger tödlich sein.

Die schnelle und sichere Schiffahrt mittelst der Dampfschiffe kann als eine völlig neue, durch die Wärmemaschinen bedingte Kunst angesehen werden. Bereits hat dieselbe über die Meeresarme und die grofsen Flüsse des alten und des neuen Kontinents die Einrichtung schneller und regelmäfsiger Verbindungen herbeigeführt. Sie hat das Durchmessen noch wilder Gebiete ermöglicht, in die man früher kaum eindringen konnte; sie hat gestattet, die Früchte der Kultur an Orte des Erdballs zu tragen, wo sie sonst noch viele Jahre hätten auf sich warten lassen. Die Dampfschiffahrt nähert in gewissem Sinne die fernsten Nationen einander. Sie verbindet die Völker der Erde, als bewohnten sie dasselbe Land. Ist die Verminderung der Dauer, der Anstrengungen, der Unsicherheit und Gefahren der Reisen in der That nicht gleichbedeutend mit einer erheblichen Verkürzung der Entfernungen?

Wir sagen Verminderung der Gefahren des Reisens, denn wenn auch die Anwendung einer Dampfmaschine auf einem Schiffe einige, übrigens weit überschätzte Gefahren mit sich bringt, so werden diese mehr als aufgewogen durch die Möglichkeit, sich stets auf einem regelmäfsig befahrenen und wohlbekannten Wege zu halten und der Wirkung des Windes zu widerstehen, wenn dieser das Schiff gegen Küsten, Untiefen und Klippen zu treiben sucht.

Die Wärmemaschinen verdanken ihre Entstehung, wie die meisten menschlichen Erfindungen, rohen Versuchen, welche verschiedenen Männern zugeschrieben worden sind, deren wahren Urheber man indes nicht kennt. Auch besteht der wesentliche Teil der Erfindung nicht so sehr in diesen ersten Versuchen als in den sshrittweisen Verbesserungen, welche die Dampfmaschine auf diejenige Stufe gebracht haben, auf welcher wir sie heute sehen. Zwischen den ersten Vorrichtungen, mittelst deren man die Ausdehnungskraft des Dampfes hervorrief und den gegenwärtigen Maschinen besteht vielleicht ein nicht geringerer Unterschied, wie zwischem dem ersten Flofs und einem Dreidecker.

Wenn die Ehre einer Erfindung derjenigen Nation zukommt, bei welcher sie ihr Wachstum und ihre Entwicklung erfahren hat, so kann hier diese Ehre England nicht versagt werden. Savery, Newcomen, der berühmte Watt und einige andere englische Techniker sind die eigentlichen Schöpfer der Dampfmaschine; aus ihren Händen hat sie die folgeweisen Stufen ihrer Vervollkommnung erlangt. Es ist übrigens naturgemäfs, dass eine Erfindung dort entsteht, wo das Bedürfnis nach ihr sich am zwingendsten geltend macht.

Trotz der mannigfaltigen Arbeiten über die Wärmemaschinen, trotz des befriedigenden Zustandes, zu dem sie gegenwärtig gelangt sind, ist ihre Theorie sehr wenig fortgeschritten und die Versuche zu ihrer Verbesserung hängen fast nur vom Zufall ab.

Man hat oft die Frage erwogen, ob die bewegende Kraft der Wärme beschränkt oder unbegrenzt ist, ob die möglichen Verbesserungen eine angebbare Grenze haben, welche durch irgend welche Mittel zu überschreiten der Natur der Sache nach unmöglich ist, oder ob im Gegenteil die Verbesserungen einer unbeschränkten Ausdehnung fähig sind. Auch hat man seit langem nach Mitteln gesucht, welche dem Wasserdampf zum Zwecke der Entwicklung der bewegenden Kraft vorzuziehen sind, und sich beispielsweise gefragt, ob nicht die Luft in dieser Beziehung grofse Vorteile biete. Wir beabsichtigen, diese Frage hier einer eingehenden Betrachtung zu unterziehen.

Die Erzeugung von Bewegung ist bei den Wärmemaschinen stets an einen Umstand geknüpft, auf welchen wir die Aufmerksamkeit lenken müssen. Dieser Umstand ist die Wiederherstellung des Gleichgewichts der Wärme, d. h. ein Übergang der Wärme von einem Körper mit mehr oder weniger erhöhter Temperatur auf einen anderen, dessen Temperatur niedriger ist. Was geschieht denn thatsächlich bei einer in Thätigkeit befindlichen Dampfmaschine? Die in der Feuerung durch Verbrennung entwickelte Wärme durchdringt die Wände des Kessels und erzeugt den Dampf; dieser nimmt die Wärme mit sich, führt sie zum Cylinder, wo sie irgend einen Dienst thut und von dort in den Kondensator. In letzter Linie bemächtigt sich daher das kalte Wasser des Kondensators der durch die Verbrennung entwickelten Wärme. Dieses Wasser erwärmt sich durch Vermittlung des Dampfes, als wenn es unmittelbar über die Feurung gebracht worden wäre. Der Dampf ist hier nur ein Mittel die Wärme fortzuschaffen.

Bei den geschilderten Vorgängen erkennt man leicht, dafs es sich um eine Herstellung des Gleichgewichts der Wärme, um ihren Übergang von einem mehr oder weniger erhitzten Körper auf einen kälteren handelt. Der wärmere Körper besteht hier aus den Feuergasen, der zweite ist das Kondensationswasser. Die Herstellung des Gleichgewichts erfolgt zwischen diesen beiden, wenn auch nicht vollständig; denn einerseits entweichen die Verbrennungsgase, nachdem sie den Dampfkessel umspült und ihre Aufgabe erfüllt haben, bei einer Temperatur, die weit unterhalb derjenigen ist, die sie durch die Verbrennung erlangt hatten; andererseits tritt das Wasser des Kondensators, nachdem es den Dampf verflüssigt hat, aus der Maschine mit einer höheren Temperatur heraus als diejenige, welche es vorher besafs.

Nach diesem Prinzip genügt es zur Gewinnung bewegender Kraft nicht, Wärme hervorzubringen; man mufs sich auch Kälte verschaffen; ohne sie wäre die Wärme unnütz. In der That, wären um die Feurung nur Körper vorhanden, welche ebenso heifs sind, wie das Feuer, wie könnte man die Verdichtung des Dampfes bewirken? Wo würde man ihn hinbefördern, nachdem er einmal enstanden ist? Man darf nicht glauben, dafs man ihn in die Luft treiben könnte; die Luft würde ihn nicht aufnehmen. Sie nimmt ihn unter den gegenwärtigen Verhältnissen nur auf, weil sie ihm gegenüber wie ein ungeheurer Kondensator wirkt, weil sie eine niedrigere Temperatur besitzt.

Überall, wo ein Temperaturunterschied besteht, und wo daher

die Wiederherstellung des Gleichgewichts der Wärme eintritt, kann auch die Erzeugung von bewegender Kraft stattfinden. Der Wasserdampf ist ein Mittel zur Erlangung dieser Kraft, aber er ist nicht das einzige; alle Stoffe der Natur können zu diesem Zwecke benutzt werden. Alle sind fähig, Volumänderungen, auf einander folgende Zusammenziehungen und Ausdehnungen, durch den Wechsel der Kälte und der Wärme zu erfahren. Bei diesen Volumänderungen vermögen die Körper bestimmte Widerstände zu überwinden und auf diese Weise bewegende Kraft zu entwickeln. Ein fester Körper, beispielsweise ein metallener Stab, vermehrt und vermindert seine Länge, wenn er abwechselnd erwärmt und abgekühlt wird, und vermag Körper zu bewegen, die an seinen Enden befestigt sind. Eine abwechselnd erwärmte und abgekühlte Flüssigkeit vermehrt und vermindert ihr Volumen und kann mehr oder weniger erhebliche Hindernisse überwinden, die sich ihrer Ausdehnung entgegenstellen. Eine gasförmige Flüssigkeit kann durch Temperaturänderungen erhebliche Änderungen des Volumens erfahren. Wenn sie sich in einem mit einem Kolben versehenen Cylinder befindet, kann sie ausgedehnte Bewegungen hervorbringen. Die Dämpfe aller Stoffe, welche in den Gaszustand übergehen können, des Alkohols, Quecksilbers, Schwefels u. s. w. könnten denselben Dienst thun, wie der Wasserdampf. Dieser bringt, wenn er abwechselnd erhitzt und abgekühlt wird, bewegende Kraft nach Art der permanenten Gase hervor, d. h. ohne jemals in den flüssigen Zustand überzugehen. Die Mehrzahl dieser Mittel ist vorgeschlagen, mehrere sind sogar versucht worden, wenn auch bisher ohne erheblichen Erfolg.

Die Wärme kann offenbar die Bewegung nur dadurch hervorrufen, dafs sie Änderungen des Volumens oder der Gestalt in den Körpern erzeugt; diese Änderungen rühren von einem Wechsel zwischen Wärme und Kälte her. Überall, wo ein Temperaturunterschied besteht, läfst sich bewegende Kraft erzeugen. Umgekehrt ist es stets möglich, wo man eine solche Kraft anwendet, Temperaturunterschiede entstehen zu lassen. Der Stofs, die Reibung der Körper, sind sie nicht thatsächlich Mittel, ihre Temperatur zu erhöhen, sie auf einen Grad zu bringen, der höher ist als derjenige der Umgebung? Stofs und Reibung können folglich eine Störung des Gleichgewichts der Wärme dort hervorbringen, wo bis dahin Gleichgewicht bestand. Es ist eine Thatsache der Erfahrung, dafs die Temperatur der Gase durch Verdichten höher und durch Verdünnen niedriger wird. Es ist dies ein sicheres Mittel, an dem-

selben Gegenstand die Temperatur zu ändern und das Gleichgewicht der Wärme zu stören, so oft man will.

---

61. Die erste Bestimmung der Entfernung eines Fixsterns. 1838.

Bessel, Messung und Entfernung des 61. Sterns im Sternbilde des Schwans[1]).

Friedrich Wilhelm Bessel wurde 1784 zu Minden geboren. Während er in Bremen als Kaufmannslehrling thätig war, widmete er sich in seinen Mufsestunden mit unermüdlichem Eifer mathematischen und astronomischen Studien. 1804 verfafste er die erste selbstständige Arbeit, welche über den Kometen vom Jahre 1607 (Siehe Abschnitt 12) handelte. Bessel wurde 1810 als Astronom nach Königsberg berufen, wo er 1846 starb. Durch seine Bestimmung der Fixsternparallaxe, von der in folgendem die Rede ist, erfüllte er eine seit Aufstellung des Kopernikanischen Systems erhobene Forderung, indem dadurch ein direkter Nachweis der Bewegung der Erde um die Sonne erbracht wurde.

Als Kopernikus zu dem grofsartigen Ergebnis gelangt war, dafs nicht nur die Planeten, sondern auch die Erde sich um die Sonne bewege, da konnte nicht mehr bezweifelt werden, dafs alle von der Erde aus gesehenen Gegenstände, die an der Bewegung der Erde nicht Anteil nehmen, Bewegungen an der Himmelskugel zeigen müssen, selbst wenn sie an sich unbeweglich sind. Da nämlich die Erde während eines Jahres durch alle Punkte ihrer Bahn läuft, so müssen alle während dieser Zeit von ihr nach einem nicht mit ihr bewegten Punkte gezogenen Gesichtslinien sich in diesem Punkte schneiden, also nach und nach verschiedene Richtungen annehmen; mit anderen Worten, der Punkt mufs seine Richtungen stetig verändern und während des Jahres eine Bahn an der Himmelskugel zu durchlaufen scheinen. Auch die Fixsterne

1) Populäre Vorlesungen über wissenschaftliche Gegenstände von F. W. Bessel. Nach dem Tode des Verfassers herausgegeben von H. C. Schuhmacher, Hamburg 1848. Die wissenschaftlichen Abhandlungen Bessels über diesen Gegenstand wurden 1838--1840 in den Astronomischen Nachrichten veröffentlicht. Siehe auch Bessels Abhandlungen, herausgegeben von Rudolf Engelmann, Leipzig 1875. 2. Bd. S. 217—236.

müssen also diese scheinbaren Bewegungen zeigen und dadurch ihre Stellung verändern. Sie müssen diese Änderungen desto gröfser zeigen, je näher und um so kleiner, je weiter entfernt sie sind; und aus der Gröfse, in welcher sie sie zeigen, mufs sich ihre Entfernung erkennen lassen.

Dieser offenbar richtigen Folgerung aus der kopernikanischen Lehre wird aber durch eine ältere Lehre widersprochen, welche behauptet, dafs die Fixsterne ihre Stellungen nicht ändern. Als Kopernikus mit seinem Weltsystem hervortrat, traten auch Widersprüche dagegen auf, und unter diesen zeichnete sich der eben angeführte, sowohl durch sein Gewicht als durch die Folgen, welche er hatte, aus. Wirklich waren die Feinde der neuen Lehre vollkommen berechtigt, von den Freunden derselben zu fordern, dafs sie die Bewegungen nachwiesen, welche die Fixsterne zufolge dieser Lehre notwendig haben müssen. Auch konnten die Kopernikaner sich nicht anders schützen als durch die Annahme, die Entfernungen der Fixsterne seien so grofs, dafs selbst die bedeutende Ortsveränderung, welche die Erde in einem halben Jahre erfährt, nur so kleine Veränderungen ihrer Richtungen hervorbringe, dafs sie schwer zu erkennen seien und sich mit den Unvollkommenheiten der Beobachtungen bis zum Unkenntlichwerden vermischen.

Mit dem neuen Weltsysteme zugleich trat also die Aufgabe hervor, die Schärfe der astronomischen Beobachtungen so zu vergröfsern, dafs sie die Bewegungen der Fixsterne nicht mehr verbergen, sondern ihre Gröfse angeben und dadurch die Entfernungen dieser Sterne selbst bestimmen.

Die Geschichte jeder astronomischen Erkenntnis, welche nur durch genauere Beobachtungen erlangt werden konnte, fängt nie vor, gewöhnlich mit Tycho Brahe[1]) an, welcher nicht nur das wissenschaftliche Gewicht der Genauigkeit der Beobachtungen zuerst gehörig erkannte, sondern sie auch bis zu einem Grade zu vergröfsern wufste, gegen den der früher erreichte beträchtlich zurückblieb. Er versah seine Sternwarte mit einem Reichtum von Instrumenten, deren Einrichtung und Ausführung ihm erlaubten, seinen Beobachtungen die Sicherheit einer Minute zu geben. Diese bis dahin unerhörte Genauigkeit machte bekanntlich die Entdeckungen über die Bewegungen im Sonnensysteme möglich, welche

[1]) Tycho Brahe, 1546—1601, dänischer Astronom, folgte 1597 einem Rufe Kaiser Rudolfs II. nach Prag, wo ihm Keppler bei seinen Arbeiten zur Seite stand. Näheres über ihn siehe Bd. II. d. Grdr. (1. Aufl.) S. 153 u. f.

Kepplers Namen verherrlichen; aber aus Tycho's Beobachtungen des Polarsterns ergab sich trotz ihrer grofsen Genauigkeit kein Einflufs der Ortsveränderungen der Erde auf die Richtungen, in welchen dieser Stern gesehen wird.

Ein Fixstern erscheint von der Erde aus an einem Punkte der Himmelskugel, welcher dem Punkte gerade entgegengesetzt ist, in dem die Erde von dem Fixsterne aus erscheinen würde. Während die Erde jährlich ihre Bahn durchläuft, beschreibt also der Fixstern eine scheinbare Bahn an der Himmelskugel, welche der Bahn der Erde, wie sie von dem Sterne zu sehen ist, sowohl der Figur als der Gröfse nach vollkommen gleich ist. Die Bahn der Erde wird aber von dem Sterne aus in derselben Figur gesehen, in welcher ein schief gesehener Kreis erscheint, nämlich in der Figur einer Ellipse, und zwar in einer desto weniger geöffneten, je kleiner der Winkel ist, unter welchem die von dem Sterne nach der Sonne gezogene grade Linie die Ebene der Erdbahn schneidet. Verschwindet dieser Winkel ganz, oder befindet sich der Stern in der erweiterten Ebene der Erdbahn selbst, so verschwindet auch die Öffnung der Ellipse, oder diese zieht sich in eine gerade Linie zusammen. Mit dem gröfser werdenden Winkel wird auch ihre Öffnung gröfser, und wenn der Winkel ein rechter ist, oder der Stern senkrecht über der Sonne steht, erscheint auch die Erdbahn von dem Sterne gesehen in ihrer wahren, nicht durch die Perspektive veränderten Gestalt, welche bekanntlich eine kaum von einem Kreise zu unterscheidende Ellipse ist. Die Gröfse, in welcher die Erdbahn von dem Sterne gesehen wird, hängt dagegen nicht von der Neigung der Gesichtslinie gegen die Ebene der Bahn, sondern allein von der Entfernung des Sternes ab; beträgt diese 57 Halbmesser der Erdbahn, so wird der Radius derselben unter einem Winkel von einem Grad gesehen; beträgt sie 3438 Halbmesser, so erscheint der Halbmesser der Erdbahn eine Minute grofs; beträgt die Entfernung 206265 Halbmesser, so geht die scheinbare Gröfse des Radius der Erdbahn auf eine Sekunde herab.

Offenbar müssen die Beobachtungen, durch welche diese jährliche Parallaxe[1]) eines Fixsterns bestimmt werden soll, desto genauer sein, je kleiner die Parallaxe ist.

Die Bestimmung der Entfernung eines Fixsterns, dessen jährliche Parallaxe 30 Sekunden oder 5 Sekunden oder $^1/_2$ Sekunde

[1]) Unter der jährlichen Parallaxe eines Sternes versteht man also den Winkel, unter welchem der Halbmesser der Erdbahn von dem betreffenden Sterne aus gesehen wird.

beträgt, der also beziehungsweise 6875, 41253, 412530 Erdbahnradien entfernt ist, ist nicht schwieriger als die Messung des Abstandes eines eine Meile entfernten Gegenstandes von einer Standlinie aus, deren Länge beziehungsweise 7 Fufs, 14 Zoll, $1^2/_5$ Zoll beträgt. Hat die jährliche Parallaxe eines Fixsterns z. B. die Gröfse einer halben Sekunde, oder ist derselbe 412530 Erdbahnradien entfernt, so kann man nicht eher erwarten, das Vorhandensein dieser Parallaxe durch Beobachtungen zu entdecken, als bis es gelungen ist, diesen eine so grofse Schärfe zu geben, dafs sie schon bei einer Ortsveränderung von $1^2/_5$ Zoll eine Veränderung der Richtung nach einem eine Meile entfernten Gegenstande angeben.

Als ich die Genauigkeit kennen lernte, welche das Ende 1829 aufgestellte grofse Heliometer[1]) der Königsberger Sternwarte den Beobachtungen geben kann, hegte ich die Hoffnung, dafs es durch dieses Instrument endlich gelingen werde, die sich den bisherigen Versuchen, trotz ihrer wachsenden Genauigkeit, hartnäckig entziehende jährliche Parallaxe der Fixsterne in günstigen Fällen zu bestimmen.

Zum Gegenstand meiner Beobachtungen habe ich die jährliche Parallaxe des 61. Sterns des Schwans gemacht, eines kleinen, dem blofsen Auge kaum sichtbaren Gestirns, das aber nichtsdestoweniger für den nächsten oder einen der nächsten von allen Fixsternen gehalten werden kann und dadurch Anspruch auf vorzugsweise Berücksichtigung verdient. Es ist seit der Mitte des vorigen Jahrhunderts bekannt, dafs mehrere Fixsterne eigentümliche, stetig fortschreitende Bewegungen an der Himmelskugel zeigen, welche eine Änderung ihrer Stellungen gegen benachbarte Sterne zur Folge haben und endlich die Gruppen, in welchen die Fixsterne erscheinen, gänzlich umgestalten werden.

Der 61. Stern des Schwans besitzt nun die gröfste von allen Eigenbewegungen, welche sich unter den Fixsternen gezeigt hat; sie beträgt jährlich mehr als 5 Sekunden. In Ermangelung eines untrüglichen Grundes, den einen Fixstern für näher zu halten als einen anderen, mag man dem Anzeichen von Nähe, welches eine grofse eigene Bewegung giebt, folgen, wenn man die Wahl des Sternes trifft, welcher der Gegenstand einer Untersuchung über die

---

[1]) Das Heliometer von Fraunhofer ist ein Apparat, der dem Astronomen zur Messung sehr geringer Distanzänderungen dient. Das erste aus Fraunhofers Werkstatt hervorgegangene Heliometer ist das von Bessel erwähnte und benutzte.

jährliche Parallaxe werden soll. Auch scheint dieses Anzeichen weniger trüglich zu sein als die Helligkeit eines Sternes, welche bekanntlich ein gänzlich unrichtiges Urteil geben würde, wenn man z. B. die Entfernung der Planeten unseres Sonnensystems danach beurteilen wollte. Als ich die grofse Eigenbewegung des 61. Sterns des Schwans erkannte, hob ich die Aussicht hervor, seine jährliche Parallaxe gröfser zu finden als die fruchtlos gesuchten jährlichen Parallaxen anderer Sterne.

Wegen seiner grofsen eigenen Bewegung also habe ich den 61. Stern des Schwans zum Gegenstande meiner Gegenwärtigen Beobachtungen gewählt; er ist ferner ein Doppelstern, den ich mit gröfserer Genauigkeit als einen einzelnen Stern beobachten zu können glaubte; er ist endlich von vielen kleinen Sternen umgeben, unter denen sich Vergleichungspunkte nach Belieben auswählen liefsen.

Meine Beobachtungen sind Messungen der Abstände des in der Mitte zwischen den beiden Sternen des Doppelgestirns liegenden Punktes von zwei Sternen der 9. bis 10. Gröfse, welche sich in seiner Nähe finden und welche ich a und b nennen werde. Die beigedruckte Figur 51 zeigt die Lage des Doppelsterns zu diesen beiden kleinen Sternen. Die beiden Sterne des Doppelgestirns sind aber, zur Vermehrung der Deutlichkeit, noch einmal so weit von einander entfernt gezeichnet, als sie mit a und b verglichen wirklich sind; der auf der rechten Seite stehende ist etwas heller als der andere.

Was fortgesetzte Messungen der Entfernung des Sternes 61 (der Mitte) von jedem der beiden gewählten Sterne a und b über die jährliche Parallaxe lehren können, geht aus der oben gegebenen Entwicklung der Erscheinung, welche die Parallaxe verursacht, hervor. Der Stern 61 bewegt sich an der Himmelskugel in einer Ellipse, deren Figur durch die Lage des Sterns gegen die Ebene der Erdbahn bestimmt ist, und deren gröfster Durchmesser das Doppelte seiner jährlichen Parallaxe ist. Auch der Vergleichsstern beschreibt eine Ellipse von derselben Figur. Diese ist aber in dem Verhältnis kleiner, in welchem seine jährliche Parallaxe kleiner ist, als diejenige von 61. Beide Sterne durchlaufen ihre Ellipsen auf gleiche Art, d. h. sie befinden sich immer an ähnlich liegenden Punkten derselben. Ihr Abstand erfährt also diejenigen Veränderungen, welche aus dem Unterschiede der Gröfsen beider Ellipsen hervorgehen. In dieser Darstellung habe ich nicht der

Aberration[1]) gedacht, obgleich sie beide Sterne im Laufe des Jahres weit stärker als die kleine jährliche Parallaxe an der Himmelskugel bewegt. Sie würde offenbar gar keinen Einfluſs auf die Entfernung beider Sterne haben, wenn sie beiden genau gleiche Bewegungen an der Himmelskugel gäbe. Allein die Bewegung, welche die Aberration einem Stern giebt, hängt von dem Orte ab, den er an der Himmelskugel einnimmt. Da nun die Örter des Sternes 61 und der Vergleichssterne zwar einander sehr nahe (Stern 61 ist von a nur 7 Minuten 22 Sek. entfernt, von b nur 11 Minuten 46 Sek.) sind, jedoch nicht völlig zusammenfallen, so ist wirklich ein kleiner Unterschied der Aberrationen vorhanden, der einen geringen Einfluſs auf die Entfernungen besitzen muſs, aber durch Rechnung leicht bestimmt wird, also keine Schwierigkeit erzeugt.

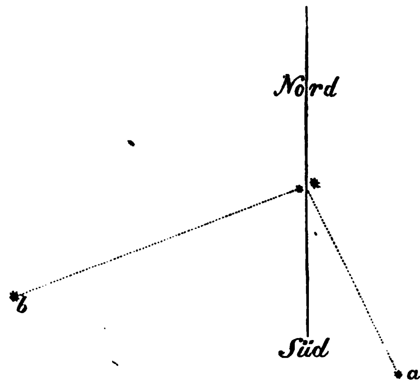


Fig. 51. Der 61. Stern des Schwans (Doppelgestirn) und die beiden Vergleichssterne[2]).

Ferner habe ich des Einflusses nicht gedacht, welchen die Eigenbewegung des Sternes 61 auf den Abstand ausübt. Dieser Einfluſs besteht offenbar in einer fast gleichförmigen Veränderung des Abstandes, deren Gröſse man berechnen kann, wenn man die Gröſse der Eigenbewegung des Sternes kennt. Hierdurch kann man alle im Laufe der Zeit gemachten Messungen auf diejenigen Werte zurückführen, welche man gemessen haben würde, wenn der Stern 61 unverändert an dem Orte geblieben wäre, wo er sich zu einers betimmten Zeit, z. B. am Anfange des Jahres 1838, befand.

Das eben Gesagte erläutert, wie aus fortgesetzten Messungen der Entfernung des Sternes 61 von einem jeden der Vergleichssterne ein Urteil über den Unterschied der beiden jährlichen Parallaxen hervorgehen muſs. Einer der Vergleichssterne wäre also schon hinreichende Grundlage der Untersuchung gewesen;

---

[1]) Die Aberration oder scheinbare Verschiebung der Sterne wird dadurch veranlaſst, daſs die Geschwindigkeit der Erde zur Geschwindigkeit des Lichtes in einem bestimmten Verhältnisse (1 : 10000) steht. Aus diesem Grunde ist ein Fernrohr in die Resultierende der beiden Bewegungen einzustellen (Bradley 1726).

[2]) Aus Bessel, Populäre Vorlesungen. pag. 251.

allein ich habe deren zwei gewählt, um zwei von einander unabhängige Resultate zu erhalten, welche sich gegenseitig entweder bestätigen oder verdächtig machen konnten. Ich habe diese Beobachtungen am 16. Aug. 1837 angefangen und aus ihrer Fortsetzung bis zum 2. Oktober 1838 die Ergebnisse gezogen, welche ich jetzt mitteilen werde. In dieser Zeit sind 85 Vergleichungen des Sterns 61 mit dem Sterne a und 98 mit dem Sterne b gelungen. Jede derselben ist das mittlere Resultat mehrerer, gewöhnlich 16, in jeder Nacht gemachten Messungen. Als ich alle Beobachtungen durch Rechnung von den Einflüssen befreit hatte, welche die Aberration und die eigene Bewegung des Sterns 61 auf seine Entfernungen von a und b äufserten, zeigten sich sehr deutliche Veränderungen derselben, welche demselben Gesetze folgten, nach welchem eine jährliche Parallaxe des Sternes 61 seine Entfernungen sowohl von dem Sterne a als von dem Sterne b im Laufe des Jahres verändern mufste.

Obgleich der Schlufs von der geringen Helligkeit der Sternchen a und b auf eine sehr grofse Entfernung oder eine so kleine jährliche Parallaxe, dafs diese gänzlich unmerklich ist, nicht als sicher betrachtet werden darf, so halte ich es doch der jetzigen Ausdehnung der Beobachtungsreihe angemessen, diesen Schlufs zu ziehen, und aus der Zusammenfassung der Vergleiche des Sternes 61 mit den Sternen a und b ein mittleres, auf der Voraussetzung der Unmerklichkeit der jährlichen Parallaxen der letzteren Sterne beruhendes Resultat für die jährliche Parallaxe des 61. Sternes zu suchen. Dieser Ansicht bin ich gefolgt und habe dadurch die jährliche Parallaxe des 61. Sterns des Schwans etwas gröfser als 31 Hundertstel einer Sekunde gefunden.

Es folgt daraus, dafs sein Abstand 657700 Halbmesser der Erdbahn beträgt. Das Licht gebraucht etwas über 10 Jahre, um diese grofse Entfernung zu durchlaufen. Sie ist so grofs, dafs sie nicht versinnlicht werden kann. Alle Versuche, sie anschaulich zu machen, scheitern entweder an der Gröfse der Einheit, wodurch sie gemessen werden soll oder an der Zahl der Wiederholungen dieser Einheit. Die Entfernung, welche das Licht in einem Jahre durchläuft, ist nicht anschaulicher als die, welche es in 10 Jahren zurücklegt. Wählt man dagegen eine anschauliche Einheit, z. B. die Enfernung von 200 Meilen, welche ein Dampfwagen täglich durchlaufen kann, so sind 68000 Millionen solcher Tagereisen oder fast 200 Millionen Jahresreisen zur Durchmessung des Abstandes jenes Sternes erforderlich.

62. Das Doppler'sche Prinzip. 1842.

Einleitender Abschnitt aus Dopplers Abhandlung[1]).

Christian Doppler war ein deutscher Physiker (1803—1853). Das von ihm gefundene und nach ihm benannte Prinzip besagt, dafs die Höhe eines Tones, sowie die Art eines Lichteindrucks davon abhängen, ob sich die Entfernung zwischen der Wellenquelle und dem empfindenden Organ vergröfsert oder verringert. Über die Bedeutung dieses Prinzips für die weitere Entwicklung der Astronomie siehe Bd. II d. Grdr. (1. Aufl.) Seite 420 u. 421.

Nach der Vibrationshypothese ist bekanntlich die Farbenempfindung eine unmittelbare Folge der in gewissen Zeitintervallen regelmäfsig aufeinander folgenden Wellenschläge des Äthers. Die Stärke des Lichtes hängt dagegen lediglich ab von der Schwingungsweite jedes einzelnen Ätherteilchens, bezw. derjenigen Ätherteilchen, welche unmittelbar die Netzhaut des Auges berühren. Alles, was demnach das Intervall der Zeit ändert, die zwischen den einzelnen Stöfsen des Äthers verfliefst, zieht notwendig eine Änderung der Farbe nach sich. Und jeder Umstand, der bewirkt, dafs die einzelnen Wellenschläge mit verminderter oder vermehrter Energie erfolgen, ändert den Intensitätsgrad des Lichtes.

Was hier von den Lichtwellen gesagt wurde, gilt natürlich auch vollkommen strenge von den Schallwellen, und man hat in folgedessen auch von jeher die verschiedenen Lichterscheinungen aus jenen des Schalles auf dem Wege der Analogie mit vielem Glück zu erklären gesucht. Es scheint mir aber sehr bemerkenswert, dafs man sowohl in der Licht- und Schalllehre, wie auch in der allgemeinen Wellenlehre meines Wissens auf einen sehr wohl vorkommenden Umstand bisher so gut wie keine Rücksicht genommen hat. Spricht man nämlich von den Licht- und Schallwellen als Ursachen der Licht- und Schallempfindungen und nicht blofs als von objektiven Vorgängen, so mufs man nicht nur danach fragen, in welchen Zeitintervallen und mit welcher Intensität die Wellenbewegung an und für sich vor sich geht, sondern in welchen Intervallen und in welcher Stärke die Äther- und die Luftschwingungen

[1]) Christian Doppler, Über das farbige Licht der Doppelsterne und einiger anderen Gestirne des Himmels. (Abhandlg. d. k. böhm. Gesellschaft d. Wissenschaften V. Folge, Bd. 2.) Prag, 1842.

vom Auge oder von dem Ohre des Beobachters aufgenommen und dementsprechend empfunden werden. Von diesen rein subjektiven Bestimmungen, nicht aber von dem objektiven Sachverhalte hängen die Farbe und die Intensität einer Lichtempfindung, sowie Höhe und Stärke eines Tones ab.

Im ersten Augenblicke mag es nun freilich scheinen, als sei das Gesagte mehr für eine gelehrte Unterscheidung, denn für eine von wichtigen praktischen Folgen begleitete Bemerkung zu halten. Doch darüber möge der Leser, sobald er die nachfolgenden Zeilen erwogen, selbst entscheiden. Solange man nämlich voraussetzt, dafs sowohl der Beobachter als auch die Wellenquelle unverändert ihren anfänglichen Ort beibehalten, unterliegt es freilich keinem Zweifel, dafs die subjektiven Bestimmungen mit den objektiven vollkommen zusammenfallen. Wie aber, wenn entweder der Beobachter oder die Quelle oder gar beide zugleich ihren Ort verändern, sich von einander entfernen oder sich einander nähern, und zwar mit einer Geschwindigkeit, welche mit der Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Wellen in einigen Vergleich käme?

In der That scheint nichts begreiflicher, als dafs der Weg und die Zeit, welche zwischen zwei Wellenschlägen verfliefst, für einen Beobachter sich verkürzen mufs, wenn er den ankommenden Wellen entgegeneilt, dagegen sich verlängern, wenn er ihnen enteilt, und dafs gleichzeitig im ersteren Falle die Intensität des Wellenschlages gröfser werden, im zweiten Falle dagegen abnehmen mufs. Bei einer Bewegung der Wellenquelle selbst findet natürlich eine ähnliche Veränderung in demselben Sinne statt. Hat doch auch der Erfahrung zufolge ein Schiff, welches den andringenden Wellen entgegensteuert, in derselben Zeit eine gröfsere Anzahl und viel heftigere Wellenschläge zu erleiden wie ein Schiff, das ruht oder gar sich in der Richtung der Wellen mit ihnen fortbewegt. Was aber von den Wasserwellen gilt, weshalb dürfte dies nicht mit den nötigen Einschränkungen auch von den Luft- und Ätherwellen angenommen werden! Unter diesen Umständen wird es zweckdienlich sein, die nötigen auf diesen Fall bezüglichen, ganz einfachen Formeln aufzustellen. Und indem wir dieselben versuchsweise auf die Schallwellen anwenden, glauben wir zugleich auch der Akustik einen kleinen Dienst zu leisten.

63. Das Prinzip von der Erhaltung der Kraft.

a) R. Mayer. Die organische Bewegung in ihrem Zusammenhange mit dem Stoffwechsel[1]).

Julius Robert Mayer wurde am 25. November 1814 zu Heilbronn geboren. Als Arzt von physiologischen Beobachtungen ausgehend, gelangte er schon im Jahre 1842 zu einem annähernd richtigen Wert für das mechanische Wärmeäquivalent. In der hier auszugsweise wiedergegebenen Schrift vom Jahre 1845 führte er eingehender aus, wie sich durch sein Prinzip von der Erhaltung der Kraft die Mannigfaltigkeit der Naturerscheinungen verknüpfen lasse. Mayers Verdienste wurden erst spät gewürdigt. Er starb am 20. März 1878.

Soll eine ruhende Masse in Bewegung gesetzt werden, so ist dazu ein Aufwand von Kraft erforderlich. Eine Bewegung entsteht nicht von selbst; sie entsteht aus ihrer Ursache, aus der Kraft.

Die Kraft, als Bewegungsursache, ist ein unzerstörbares Objekt. Es entsteht keine Wirkung ohne Ursache, keine Ursache vergeht ohne entsprechende Wirkung.

Die quantitative Unveränderlichkeit des Gegebenen ist ein oberstes Naturgesetz, das sich auf gleiche Weise über Kraft und Stoff erstreckt.

Die Chemie lehrt uns die qualitativen Veränderungen kennen, welche die gegebenen Stoffe unter verschiedenen Umständen erleiden, und liefert dabei in jedem einzelnen Falle den Beweis, dafs bei den chemischen Vorgängen nicht das Gewicht des Gegebenen geändert wird.

Was die Chemie bezüglich des Stoffes, das hat die Physik bezüglich der Kraft zu leisten. Die Kraft in ihren verschiedenen Formen kennen zu lernen, die Bedingungen ihrer Umwandlungen zu erforschen, dies ist die einzige Aufgabe der Physik, denn die Erschaffung oder die Vernichtung einer Kraft liegt aufser dem Bereiche menschlichen Denkens und Wirkens.

Ob es in zukünftigen Zeiten je gelingen wird, die zahlreichen chemischen Grundstoffe in einander zu verwandeln, sie auf wenige

1) Die Mechanik der Wärme, in gesammelten Schriften von J. R. Mayer. Stuttgart 1867.

Elemente oder gar auf einen einzigen Urstoff zurückzuführen, ist mehr als zweifelhaft. Nicht das Gleiche gilt von den Bewegungsursachen. Es wird durch die Erfahrung überall bestätigt, dafs die verschiedenen Kräfte sich ineinander verwandeln lassen. Es giebt in Wahrheit nur eine einzige Kraft. In ewigem Wechsel kreist dieselbe in der toten wie in der lebenden Natur.

Die Bewegung ist eine Kraft. Bei der Aufzählung der Kräfte verdient sie die erste Stelle.

Wenn eine bewegte Masse auf eine ruhende trifft, so wird die letztere in Bewegung gesetzt, während die erstere an Bewegung verliert.

Stöfst der weifse Ball den roten central an, so verliert der weifse seine Bewegung und der rote geht mit dessen Geschwindigkeit fort. Die Bewegung des weifsen ist es, welche aufgewendet die Bewegung des roten hervorgebracht oder sich in die letztere verwandelt hat. Die Bewegung des weifsen Balles ist eine Kraft. Die Bewegung des roten ist als Wirkung ihrer Ursache gleich, sie ist ebenfalls eine Kraft.

Eine ruhende Masse, in irgend einer Entfernung von dem Erdboden sich selbst überlassen, setzt sich sofort in Bewegung und langt mit einer berechenbaren Endgeschwindigkeit auf dem Boden an. Die Bewegung dieser Masse kann nicht ohne Aufwand von Kraft entstanden sein. Welches ist nun diese Kraft? Man wird leicht gewahr, dafs die Erhebung des Gewichtes die Ursache der Bewegung desselben ist. Ein Gewicht war 5 Meter über dem Boden in Ruhe; durch Herabfallen hat es die Geschwindigkeit von 10 Metern in einer Sekunde erlangt. Aufgewendet wurde die Erhebung, erzeugt wurde die Bewegung der Last.

Gewichtserhebung ist folglich Bewegungsursache, ist Kraft.

Jahrtausende lang war das Menschengeschlecht zur Lösung einer immer wiederkehrenden Aufgabe, nämlich ruhende Massen mit den Hülfsmitteln der anorganischen Natur in Bewegung zu setzen, fast ausschliefslich auf die Verwendung gegebener mechanischer Kräfte beschränkt. Der neueren Zeit blieb es vorbehalten, den Kräften der alten Welt, der strömenden Luft und dem fallenden Wasser, noch eine andere Kraft hinzuzufügen. Diese dritte Kraft, deren Wirkungen unser Jahrhundert mit Bewunderung erblickt, ist die Wärme.

Die Wärme ist eine Kraft; sie läfst sich in mechanische Leistung verwandeln.

Einer Masse von 50000 kg, einem Eisenbahnzug z. B., soll die Geschwindigkeit von 18 Metern in der Sekunde erteilt werden. Durch den Aufwand der erforderlichen Menge Fallkraft läfst sich diesem Verlangen entsprechen, und es werden die Wagen z. B. durch Herabrollen über eine geneigte Ebene die gewünschte Bewegung erhalten. Der Zug wird aber in der Regel ohne Aufwand von Fallkraft in Bewegung gesetzt und trotz Reibung u. s. w. darin erhalten. Wenn man als Äquivalent der Reibung eine Steigung der Bahn von $^1/_{150}$ annimmt, so würde bei einer Geschwindigkeit von 10 Metern die Last in einer Stunde 240 Meter hoch gehoben, was der einstündigen Arbeit von etwa 45 Pferden entspricht. Diese gewaltige Menge erzeugter Bewegung setzt eine gleich grofse Menge einer aufgewendeten Kraft voraus. Die in den Lokomotiven wirksame Kraft ist aber die Wärme.

Der Aufwand von Wärme oder die Verwandlung der Wärme in Bewegung beruht nun darauf, dafs die Wärmemenge, welche der Dampf aufnimmt, gröfser ist als diejenige, welche er bei seiner Verdichtung wieder an die Umgebung abgiebt. Der Unterschied ergiebt die nutzbar gemachte oder die in mechanische Kraft verwandelte Wärme.

Ein Teil der Wärme, welche durch die Verbrennung der Kohle gewonnen wird, teilt sich der Umgebung mit und geht so für mechanische Zwecke verloren. Je vollkommener nun der Apparat ist, um so weniger wird verhältnismäfsig Wärme an die Umgebung abgesetzt. Die besten Maschinen geben nahezu 5 Prozent Unterschied; 100 ℔ Steinkohlen liefern in einer solchen Maschine keine gröfsere Menge von freier Wärme, als 95 ℔ Steinkohlen abgeben, welche ohne Arbeit verbrennen.

Dafs Verwandlung von mechanischer Kraft in Wärme stattfindet, lehrt uns allenthalben die Erfahrung. Die hierher einschlagenden Thatsachen, die Wärmeentwicklung bei Stofs und Reibung nämlich, sind längst bekannt. Man beobachte die Erwärmung der grofsen Mühlsteine, der Achse aller beweglichen Räder; man erinnere sich der Rumford'schen Versuche[1]). Überall die gleiche Erscheinung: endlose Wärmeentwicklung unter Aufwand von mechanischer Arbeit. Die Erzeugung der Reibungs-Elektricität erfolgt ebenfalls unter dem Aufwande von mechanischer Arbeit.

---

[1]) Rumford (1753–1814) brachte 1798 Wasser dadurch zum Sieden, dafs er in demselben ein Geschützrohr rotieren liefs, gegen welches ein stumpfer Bohrer geprefst wurde. Siehe Bd. II (1. Aufl.) S. 337 u. f.

Den räumlichen Abstand der Massen, z. B. der Erde und eines Gewichtes, haben wir oben als eine Kraft kennen gelernt. Ein Kilogrammgewicht in unendlicher Entfernung — oder wie wir sagen wollen, in mechanischer Trennung — von der Erde stellt eine Kraft dar; durch den Aufwand dieser Kraft, d. h. durch die mechanische Verbindung beider Massen, wird eine andere Kraft erzeugt, nämlich die Bewegung eines Kilogramms mit der Geschwindigkeit von 10000 Metern[1]. Durch den Aufwand dieser Bewegung lassen sich 17356 Kilogramm Wasser um 1° erwärmen. Die Erfahrung lehrt nun, dafs dieselbe Wirkung wie bei der mechanischen Verbindung, eine Wärmeentwicklung nämlich, durch die chemische Verbindung gewisser Stoffe erzielt wird. Das Chemischgetrennt-sein oder kürzer die Affinität der Stoffe ist eine Kraft.

Die chemische Verbindung von 1 kg Kohlenstoff mit 2,6 kg Sauerstoff ist gleichwertig der mechanischen Verbindung von ½ kg mit der Erde; durch beide werden 8500 Wärmeeinheiten erhalten[2].

Die Sonne ist eine nach menschlichen Begriffen unerschöpfliche Quelle physischer Kraft. Der Strom dieser Kraft, der sich auch über unsere Erde ergiefst, ist die beständig sich spannende Feder, die das Getriebe irdischer Thätigkeiten im Gange erhält. Die Strahlen der Sonne sind es, welche die Bewegungen in unserer Atmosphäre bewirken, die Gewässer zu Wolken in die Höhe heben und die Strömung der Flüsse hervorbringen. Die Wärme, welche von den Rädern der Wind- und Wassermühlen durch Reibung erzeugt wird, ist der Erde von der Sonne aus in Form einer vibrierenden Bewegung zugesandt worden.

Die Natur hat sich die Aufgabe gestellt, das der Erde zuströmende Licht im Fluge zu erhaschen und die beweglichste aller Kräfte, in starre Form verwandelt, aufzuspeichern. Zur Erreichung dieses Zweckes hat sie die Erdkruste mit Organismen überzogen, welche das Sonnenlicht in sich aufnehmen und unter Verwendung dieser Kraft eine fortlaufende Summe chemischer Spannkraft erzeugen. Diese Organismen sind die Pflanzen. Die Pflanzenwelt bildet ein Reservoir, in welchem die flüchtigen Sonnen-

[1] D. h. die Endgeschwindigkeit, welche ein frei zur Erde fallender Körper erlangt, hat eine gewisse Grenze. Diese wird dann erreicht, wenn der Körper aus unendlicher Entfernung herabfällt und beträgt etwa 10000 Meter.

[2] Die Wärmemenge, welche 1 kg Kohlenstoff bei der Verbrennung zu Kohlendioxyd entwickelt, die sogenannte Verbrennungswärme, beträgt nur 8080 Wärmeeinheiten, d. h. es würden sich damit 8080 kg Wasser von 0° auf 1° erwärmen lassen.

strahlen festgehalten und zur Nutzanwendung geeignet niedergelegt werden, eine Fürsorge der Natur, an welche das Fortbestehen des Menschengeschlechtes unzertrennlich geknüpft ist.

Die reduzierenden Wirkungen, welche das Sonnenlicht auf anorganische und organische Substanzen ausübt, sind jedermann bekannt. Die Reduktion erfolgt am stärksten im hellen Sonnenlichte, schwächer im Schatten und fehlt ganz im Dunkeln; sie beruht nach obigen Ausführungen auf der Umwandlung einer gegebenen Kraft in eine andere, auf der Umwandlung von lebendiger Kraft in chemische Spannkraft.

Die Zeit liegt nicht weit hinter uns, wo die Streitfrage verhandelt wurde, ob die Pflanze während ihres Lebens chemische Grundstoffe zu verwandeln oder gar zu erzeugen imstande sei. Die Wissenschaft hat mit Sicherheit ein einstimmiges „Nein“ gesprochen. Wir wissen, dafs die Stoffe, um welche eine Pflanze zunimmt, und die, welche von der Pflanze ausgeschieden werden, zusammen der aufgenommenen Stoffmenge gleich sind. Der Baum, welcher viele tausend Pfund wiegt, hat jedes Stoffteilchen aus seiner Umgebung aufgenommen. Es findet in der Pflanze nur eine Umwandlung, nicht eine Erzeugung von Stoffen statt.

Dieser Satz bildet die verbindende Brücke zwischen der Chemie und der Pflanzenphysiologie; seine Wahrheit ist mehr a priori einleuchtend als durch Versuche in den einzelnen Fällen zu beweisen. Die gleichen Gründe bestimmen uns nun anzunehmen, dafs die Pflanzen auch eine Kraft nur zu verwandeln, nicht aber zu erschaffen vermögen.

Die Pflanzen nehmen eine Kraft, das Licht, auf und bringen chemische Spannkraft hervor. Die Logik nötigt den Naturforscher, die Leistung mit dem Aufwande in ursächlichen Zusammenhang zu bringen. Dieser Aufwand oder die Lichtaufnahme ist, wie wir seit Saussure wissen, das notwendige Erfordernis zu einer Leistung, zur Reduktion [1]).

Die Erschaffung einer physischen Kraft, schon an und für sich selbst kaum denkbar, erscheint umso widersinniger, wenn man berücksichtigt, dafs die Pflanze einzig mit Hülfe des Sonnenlichtes ihre Leistung zu vollbringen imstande ist. Durch die Annahme einer „Lebenskraft“ wird jede weitere Forschung abgeschnitten und die Anwendung der Gesetze exakter Wissenschaften

---

[1]) Siehe Abschnitt 40 d. Bds.

auf die Lehre von den Lebenserscheinungen unmöglich gemacht. Der Verfasser glaubt daher auf das Einverständnis seiner Leser rechnen zu dürfen, wenn er den Grundsatz ausspricht, dafs während des Lebens nur eine Umwandlung, wie des Stoffes so der Kraft, niemals aber eine Erschaffung der einen oder der anderen vor sich geht.

Die durch die Thätigkeit der Pflanzen angesammelte physische Kraft fällt einer anderen Klasse von Geschöpfen anheim, welche den Vorrat durch Raub sich zueignen und ihn für ihre Zwecke verwenden. Es sind dies die Tiere.

Das lebende Tier nimmt fortwährend aus dem Pflanzenreiche brennbare Stoffe in sich auf, um sie mit dem Sauerstoff der Atmosphäre wieder zu verbinden. Parallel diesem Aufwande läuft die das Tierreich kennzeichnende Leistung, die Hervorbringung mechanischer Effekte, die Erzeugung von Bewegungen, das Heben von Lasten u. s. w. Diese Leistungen sind Mittel und Zweck im tierischen Organismus, sie sind die Bedingung eines jeden tierischen Lebensvorgangs. Zwar bringen auch die Pflanzen mechanische Leistungen hervor, sie bewegen und heben; offenbar ist aber, bei gleicher Zeit und gleicher Masse, die Summe der von einer Pflanze geleisteten Effekte der tierischen Leistung gegenüber eine verschwindend kleine. Während also in der Pflanze die Erzeugung mechanischer Effekte eine quantitativ und qualitativ sehr untergeordnete Rolle spielt, ist die Verwandlung chemischer Spannkraft in nutzbaren mechanischen Effekt der unzertrennliche Begleiter, das kennzeichnende Merkmal des Tierlebens.

---

63. Das Prinzip von der Erhaltung der Kraft.

b) H. v. Helmholtz, Über die Wechselwirkung der Naturkräfte[1].

Hermann von Helmholtz (1821—1894), wohl der bedeutendste unter den neueren Physikern, gelangte im Jahre 1847 gleich-

---

[1] Hermann v. Helmholtz, Über die Wechselwirkung der Naturkräfte und die darauf bezüglichen neuesten Ermittelungen der Physik. Ein populär wissenschaftlicher Vortrag gehalten am 7. Februar 1854. Populäre wissenschaftliche Vorträge, 1. Heft; Braunschweig, 1865.

falls zu der Erkenntnis des Gesetzes von der Erhaltung der Kraft, welches Robert Mayer (Siehe den vorhergehenden Abschnitt) zuerst ausgesprochen und der englische Physiker Joule zur selben Zeit für einige Gebiete der Physik durch seine Versuche als gültig dargethan hatte. Die folgenden Betrachtungen, welche Helmholtz über die Bedeutung des Gesetzes von der Erhaltung der Kraft anstellte, sind einem populären Vortrage des grofsen Forschers entnommen. Näheres siehe Bd. II d. Grdr. (1. Aufl.) S. 384 u. f.

Wenn ich Gesetze, welche zunächst nur von den physikalischen Vorgängen zwischen irdischen Körpern hergeleitet sind, auch für andere Himmelskörper als gültig betrachte, so erinnere ich daran, dafs dieselbe Kraft, welche wir auf der Erde Schwere nennen, in den Welträumen als Gravitation wirkt und auch in den Bewegungen unermefslich ferner Doppelsterne als wirksam wiederzuerkennen ist; dafs Licht und Wärme irdischer Körper in keiner Beziehung wesentlich von dem der Sonne und der fernsten Fixsterne unterschieden sind; dafs endlich die Meteorsteine, welche aus dem Weltraum zuweilen auf die Erde stürzen, dieselben chemischen Grundstoffe enthalten wie die irdischen Körper. Wir werden also nicht anzustehen brauchen, allgemeine Gesetze, welchen sämtliche irdischen Naturvorgänge unterworfen sind, auch für andere Weltkörper als gültig zu betrachten. Wir wollen daher auf Grund unseres Gesetzes von der Erhaltung der Kraft den Haushalt des Weltalls in Bezug auf die Vorräte wirkungsfähiger Kräfte ein wenig zu überschauen suchen.

Eine Menge von auffallenden Eigentümlichkeiten im Bau unseres Planetensystems deuten darauf hin, dafs dies System einst eine zusammenhängende Masse mit einer gemeinsamen Rotationsbewegung gewesen ist. Ohne eine solche Annahme würde sich nämlich durchaus nicht erklären lassen, warum alle Planeten in derselben Richtung um die Sonne laufen, warum sich alle auch in derselben Richtung um ihre Achse drehen, warum die Ebenen ihrer Bahnen und die ihrer Trabanten und Ringe sämtlich nahezu zusammenfallen, weshalb ihre Bahnen fast kreisförmig sind und manches andere mehr.

Kant war es, der den genialen Gedanken fafste, dafs dieselbe Anziehungskraft, welche jetzt den Lauf der Planeten unterhält, auch einst imstande gewesen sein müsse, das Planetensystem aus locker im Weltraum zerstreuter Materie zu bilden[1]. Später fand

[1]) Siehe Abschnitt 27 d. Bds.

unabhängig von ihm auch Laplace denselben Gedanken und bürgerte ihn bei den Astronomen ein[1]).

Den Anfang unseres Planetensystems mit seiner Sonne haben wir uns danach als eine ungeheure nebelartige Masse vorzustellen, welche denjenigen Teil des Weltraums, wo sich jetzt unser System befindet, ausfüllte, und zwar bis über die Bahn des äufsersten Planeten, des Neptun, hinaus. Die allgemeine Anziehungskraft aller Materie zu einander mufste aber diese Masse antreiben sich zu verdichten, sodafs der Nebelball sich mehr und mehr verkleinerte, wobei nach mechanischen Gesetzen eine ursprüngliche langsame Rotationsbewegung, deren Dasein man voraussetzen mufs, allmählich immer schneller und schneller wurde. Durch die Schwungkraft, welche in der Nähe des Äquators dieses Balles am stärksten wirken mufste, konnten dann von Zeit zu Zeit Massen losgerissen werden, welche getrennt von dem Ganzen ihre Bahn fortsetzten und sich zu einzelnen Planeten oder ähnlich dem grofsen Balle zu Planeten mit Trabantensystemen und Ringen umformten, bis endlich die Hauptmasse sich zum Sonnenkörper verdichtete.

Als sich jenes Nebelchaos von anderen Massen getrennt hatte, mufste es nicht nur schon den gesamten Stoff enthalten, aus dem das künftige Planetensystem zu bilden war; sondern gemäfs unserem neuen Gesetze von der Erhaltung der Kraft enthielt dieser Nebelball auch schon den ganzen Vorrat an Arbeitskraft, der einst darin seinen Reichtum von Wirkungen entfalten sollte. In der That war ihm eine ungeheuer grofse Mitgift in dieser Beziehung schon allein in Form der allgemeinen Anziehungskraft aller seiner Teile zu einander mitgegeben. Diese Kraft, welche auf der Erde sich als Schwerkraft äufsert, wird in Bezug auf ihre Wirksamkeit in den Weltenräumen Gravitation genannt. Wie die irdische Schwere, wenn sie ein Gewicht zur Erde niederzieht, eine Arbeit verrichtet und lebendige Kraft erzeugt, so thut dies auch jene himmlische Kraft, wenn sie zwei Massenteilchen aus entfernten Gegenden des Weltraums zu einander führt.

Auch die chemischen Kräfte mufsten schon vorhanden sein, bereit zu wirken. Da aber diese Kräfte erst bei der innigsten Berührung der verschiedenartigen Massen in Wirksamkeit treten können, so mufste erst Verdichtung eintreten, bevor ihr Spiel begann.

---

[1]) Siehe Abschnitt 28 d. Bds.

Ob noch ein weiterer Kraftvorrat in Gestalt von Wärme im Uranfange vorhanden war, wissen wir nicht. Jedenfalls finden wir mit Hilfe des Gesetzes der Äquivalenz von Wärme und Arbeit in den mechanischen Kräften jenes Urzustandes eine so reiche Quelle von Wärme und Licht, dafs wir gar keine Veranlassung haben, zu einer anderen ursprünglich bestehenden Quelle unsere Zuflucht zu nehmen. Wenn nämlich bei der Verdichtung der Massen ihre Teilchen aufeinander stiefsen, so wurde die lebendige Kraft ihrer Bewegung dadurch vernichtet und mufste zu Wärme werden.

Schliefsen wir uns der Voraussetzung an, dafs im Anfange die Dichtigkeit der nebelartig verteilten Masse verschwindend klein gewesen sei gegen die jetzige Dichtigkeit der Sonne und der Planeten, so können wir berechnen, wieviel Arbeit bei der Verdichtung geleistet worden ist; wir können ferner berechnen, wieviel von dieser Arbeit noch jetzt in Form mechanischer Kraftgröfsen besteht, nämlich als Anziehung der Planeten zur Sonne und als lebendige Kraft ihrer Bewegung. Daraus ergiebt sich schliefslich, wieviel von der bei der Verdichtung geleisteten Arbeit in Wärme verwandelt worden ist. Diese Berechnung zeigt, dafs nur noch etwa der 454 ste Teil der ursprünglichen mechanischen Kraft als solche vorhanden ist. Die übrigen 453/454 in Wärme verwandelt reichen hin, um eine der Sonne und den Planeten gleiche Wassermasse um nicht weniger als 28 Millionen Celsiusgrade zu erhitzen. Wenn die Masse unseres ganzen Systems reine Kohle wäre und verbrannt würde, so würde dadurch erst der 3500 ste Teil jener Wärmemenge erzeugt werden.

Soviel ist übrigens klar, dafs eine so grofse Wärmeentwicklung selbst das gröfste Hindernis für eine schnelle Vereinigung der Massen gewesen sein mufs, und dafs wohl erst der gröfste Teil davon durch Strahlung in den Weltraum hinein sich verlieren mufste, ehe sich so dichte Körper bilden konnten, wie es die Planeten und die Sonne gegenwärtig sind. Als sie sich bildeten, konnten ferner ihre Bestandteile nur in feurigem Flusse sein. Dies wird für die Erde übrigens noch besonders durch geologische Erscheinungen bestätigt. Auch deutet bei ihr wie bei allen anderen Körpern unseres Systems die abgeplattete Gestalt, welche die Gleichgewichtsform einer rotierenden flüssigen Masse ist, auf einen ursprünglich flüssigen Zustand hin.

Wenn ich eine ungeheure Wärmemenge unserem System ohne Ersatz verloren gehen liefs, so ist das kein Widerspruch gegen

das Prinzip von der Erhaltung der Kraft. Die Wärme ist wohl unserem Planetensystem verloren gegangen, nicht aber dem Weltall. Sie ist hinausgegangen und geht noch täglich hinaus in den unendlichen Raum; und wir wissen nicht, ob das Mittel, welches die Licht- und Wärmeschwingungen fortleitet, irgendwo Grenzen hat, an welchen die Strahlen umkehren müssen, oder ob sie für immer ihre Reise in die Unendlichkeit hinein fortsetzen.

Übrigens ist auch der noch gegenwärtig in unserem Planetensystem vorhandene Vorrat an mechanischer Kraft ungeheuren Wärmemengen gleichwertig. Könnte unsere Erde plötzlich durch einen Stofs in ihrer Bewegung um die Sonne zum Stillstande gebracht werden, so würde durch diesen Stofs soviel Wärme erzeugt, wie die Verbrennung von 14 Erden aus reiner Kohle liefern würde. Fiele die Erde dann aber, wie es der Fall sein müfste, wenn sie zum Stillstand käme, in die Sonne hinein, so würde die durch einen solchen Stofs entwickelte Wärme noch 400 mal so grofs sein.

Unsere Erde trägt, wie erwähnt, die Spuren ihres alten feurigflüssigen Zustandes noch an sich. Die granitene Grundlage ihrer Gebirge zeigt ein Gefüge, welches nur durch das krystallinische Erstarren geschmolzener Massen entstanden sein kann. Noch jetzt zeigen die Untersuchungen der Temperatur in Bergwerken und Bohrlöchern, dafs die Wärme mit der Tiefe zunimmt. Vorausgesetzt, dafs diese Zunahme gleichmäfsig ist, findet sich schon in einer Tiefe von 10 Meilen eine Hitze, bei der alle unsere Gebirgsarten schmelzen. Noch jetzt fördern unsere Vulkane von Zeit zu Zeit gewaltige Massen geschmolzenen Gesteins aus dem Erdinnern hervor, als Zeugen von der Glut, die dort herrscht. Aber schon ist die Erstarrungskruste der Erde so dick geworden, dafs, wie die Berechnung ihrer Wärmeleitungsfähigkeit ergiebt, die von innen hervordringende Wärme, verglichen mit der von der Sonne gesandten, aufserordentlich klein ist und die Temperatur der Oberfläche nur etwa um $^1/_{30}$ Grad erhöhen kann. Der Rest des alten Kraftvorrats, welcher als Wärme im Innern der Erde aufgespeichert ist, beeinflufst daher die Vorgänge an der Oberfläche nur noch in den vulkanischen Erscheinungen. Jene Vorgänge gewinnen ihre Triebkraft vielmehr fast ganz aus der Einwirkung anderer Himmelskörper, namentlich aus dem Licht und der Wärme der Sonne, teilweise auch, wie bei der Flutbewegung, aus der Anziehungskraft der Sonne und des Mondes.

Am reichsten ist das Gebiet derjenigen Veränderungen, welche wir der Wärme und dem Lichte der Sonne verdanken. Die Sonne

erwärmt unsere Atmosphäre ungleichmäfsig; die erhitzte, verdünnte Luft steigt empor, während von den Seiten neue kühlere hinzufliefst; so entstehen die Winde. Am mächtigsten wirkt diese Ursache am Äquator, dessen wärmere Luft in den höheren Schichten der Atmosphäre fortdauernd nach den Polen abfliefst, während ebenso anhaltend am Erdboden die Passatwinde neue kühlere Luft nach dem Äquator zurückführen. Ohne Sonnenwärme würden alle Winde notwendig aufhören.

Ähnliche Strömungen entstehen aus dem gleichen Grunde im Meereswasser. Von ihrer Bedeutung zeugt namentlich der Einflufs, den sie auf das Klima mancher Gegenden haben. Ferner wird durch die Sonnenwärme ein Teil des Wassers verdampft, steigt in die oberen Schichten der Atmosphäre, wird verdichtet und bildet Wolken, fällt als Regen oder Schnee wieder auf den Erdboden und seine Berge zurück, sammelt sich in Form von Quellen, Bächen und Flüssen, um endlich in das Meer zurückzukehren, nachdem es die Felsen zernagt, lockeres Erdreich weggeschwemmt und so das Seinige zur geologischen Veränderung der Erde beigetragen, vielleicht auch noch unterwegs unsere Wassermühlen getrieben hat. Nehmen wir die Sonnenwärme weg, so kann auf der Erde nur eine einzige Bewegung des Wassers übrig bleiben, nämlich Ebbe und Flut, welche durch die Anziehung der Sonne und des Mondes hervorgerufen werden.

Wie ist es nun mit der Arbeit der organischen Wesen? Hier zeigt es sich, dafs die Fortdauer des Lebens an die fortwährende Aufnahme von Nahrungsmitteln gebunden ist. Diese sind verbrennliche Stoffe, welche denn auch wirklich, nachdem sie verdaut und in die Blutmasse übergegangen sind, in den Lungen einer langsamen Verbrennung unterworfen werden. Der Körper des Tieres unterscheidet sich also durch die Art, wie er Wärme und Kraft gewinnt, nicht von der Dampfmaschine, wohl aber durch die Zwecke und die Weise, zu welchen und in welcher er die gewonnene Kraft weiter benutzt. Er ist jedoch in der Wahl seines Brennmaterials beschränkter. Die Dampfmaschine würde nämlich mit Zucker, Stärkemehl und Butter ebenso gut geheizt werden können wie mit Steinkohlen und Holz.

Wo kommen nun aber die Nahrungsmittel her, welche für das Tier die Quelle der Kraft sind? Die Antwort lautet: aus dem Pflanzenreiche. Denn nur pflanzliche Stoffe oder das Fleisch pflanzenfressender Tiere können als Nahrungsmittel gebraucht werden.

Wenn man nun Einnahme und Ausgabe der Pflanzen untersucht, so findet man, dafs ihre Haupteinnahme in den Verbrennungsprodukten besteht, welche das Tier erzeugt. Die Pflanzen nehmen den bei der Atmung zu Kohlensäure verbrannten Kohlenstoff aus der Luft auf. Den verbrannten Wasserstoff absorbieren sie als Wasser und den Stickstoff des Tieres erhalten sie ebenfalls in seiner einfachsten und engsten Verbindung als Ammoniak. Aus diesen Stoffen erzeugen sie mit Beihülfe weniger Bestandteile, die sie dem Boden entnehmen, von neuem die zusammengesetzten verbrennlichen Substanzen, wie Eiweifs, Zucker und Öl, von denen das Tier lebt. Hier scheint also ein Kreislauf zu sein, der eine ewige Kraftquelle ist. Die Pflanzen bereiten Nährstoffe; die Tiere nehmen diese auf, verbrennen sie langsam, und von den entstandenen Verbrennungsprodukten leben wieder die Pflanzen. Diese sind eine ewige Quelle chemischer, jene eine Quelle mechanischer Kraftgröfsen. Sollte die Verbindung beider organischen Reiche das Perpetuum mobile verwirklichen? Wir dürfen nicht so rasch schliefsen. Die weitere Untersuchung ergiebt nämlich, dafs die Pflanzen verbrennliche Substanz nur unter dem Einflusse des Sonnenlichtes zu bereiten vermögen. Ein Teil der Sonnenstrahlen zeichnet sich durch merkwürdige Beziehungen zu den chemischen Kräften aus; er kann chemische Verbindungen schliefsen und lösen. Man nennt diese Strahlen, welche von blauer oder violetter Farbe sind, deshalb auch chemische Strahlen. Wir benutzen ihre Wirksamkeit namentlich bei der Anfertigung von Lichtbildern. Hier sind es Verbindungen des Silbers, welche an den Stellen, wo sie vom Lichte getroffen werden, sich zersetzen. In den grünen Teilen der Pflanze heben die Sonnenstrahlen die mächtige chemische Verwandtschaft des Kohlenstoffs zum Sauerstoffe auf, geben letzteren der Atmosphäre zurück und häufen ersteren mit anderen Elementen verbunden als Holzfaser, Stärkemehl, Öl u. s. w. in der Pflanze an. Es verschwindet also wirkungsfähige Kraft des Sonnenlichtes, während verbrennliche Stoffe in den Pflanzen erzeugt und aufgespeichert werden.

Wir erkennen somit, dafs der ungeheure Reichtum von immer wechselnden klimatischen, geologischen und organischen Vorgängen auf unserer Erde fast allein durch die leuchtenden und erwärmenden Strahlen der Sonne im Gange erhalten wird, da die innere Wärme des Erdballs wenig Einflufs auf die Temperatur der Oberfläche besitzt. Man kann messen, wieviel Sonnenwärme hier auf der Erde in einer gegebenen Zeit eine gegebene Fläche trifft, und daraus berechnen, wieviel Wärme in einer gewissen Zeit von der

Sonne ausgestrahlt wird. Dergleichen Messungen[1]) haben ergeben, dafs die Sonne soviel Wärme abgiebt, dafs an ihrer ganzen Oberfläche stündlich eine zehn Fufs dicke Schicht Kohlenstoff abbrennen müfste, um diese Wärmemenge durch Verbrennung zu erzeugen. Für ein Jahr macht das eine Kohlenstoffschicht von $3^1/_2$ Meilen Dicke aus. Würde diese Wärme dem ganzen Sonnenkörper gleichmäfsig entzogen, so würde seine Temperatur jährlich doch nur um $1^1/_3$ Grad erniedrigt werden[2]).

Diese Angaben können uns indes keinen Aufschlufs darüber geben, ob die Sonne nur diejenige Wärme ausstrahlt, welche seit ihrer Entstehung in ihr angehäuft ist, oder ob fortdauernd neue Wärme an ihrer Oberfläche infolge chemischer Vorgänge erzeugt wird. Jedenfalls lehrt uns das Gesetz von der Erhaltung der Kraft, dafs kein Vorgang in der Sonne die Wärme- und Lichtausstrahlung für ewige Zeiten unterhalten kann. Aber dasselbe Gesetz lehrt uns auch, dafs die in der Sonne bestehenden Kraftvorräte, welche entweder als Wärme schon vorhanden sind oder einst zu Wärme werden können, noch für unermessliche Zeiten ausreichen. Über die Vorräte chemischer Kraft in der Sonne können wir nichts mutmafsen, die in ihr aufgehäuften Wärmevorräte nur durch sehr unsichere Schätzungen bestimmen. Folgen wir aber der sehr wahrscheinlichen Ansicht, dafs die für ein Gestirn von so grofser Masse auffallend geringe Dichtigkeit[3]) durch seine hohe Temperatur bedingt ist und dafs diese Dichtigkeit mit der Zeit gröfser werden kann. Unter dieser Voraussetzung läfst sich berechnen, dafs durch eine Verringerung des Sonnendurchmessers um den zehntausendsten Teil seiner jetzigen Gröfse hinreichend viel Wärme erzeugt würde, um die ganze Wärmeausgabe für 2100 Jahre zu decken. Eine solch geringe Veränderung des Sonnendurchmessers würde übrigens durch die feinsten Beobachtungen nur mit Mühe erkannt werden können. In der That hat sich seit der Zeit, aus der wir geschichtliche Nachrichten haben, also seit etwa 4000 Jahren, die Temperatur der Erdoberfläche nicht merklich verringert. Wir haben aus so alter Zeit allerdings keine Thermometerbeobachtungen; aber wir haben Angaben über die Verbreitung einiger Kulturpflanzen, wie des Weinstocks und des

---

[1]) Pouillet, Memoire sur la chaleur solaire etc. Paris 1838. Siehe Poggendorffs Annalen Bd. LXV.

[2]) Wenn man die Wärmekapacität der Sonne derjenigen des Wassers gleichsetzt.

[3]) Die Dichtigkeit der Sonne ist nur etwa $^1/_4$ derjenigen der Erde. Siehe Bd. II d. Grdr. (1. Aufl.) S. 240.

Ölbaums, welche gegen Änderungen der mittleren Jahrestemperatur sehr empfindlich sind. Wir finden nun, dafs diese Pflanzen noch jetzt genau dieselben Verbreitungsgrenzen haben wie zu den Zeiten Abrahams und Homers, woraus auf die Beständigkeit des Klimas zu schliefsen ist.

Aber wenn auch die Kraftvorräte unseres Planetensystems so ungeheuer sind, dafs sie durch die fortwährenden Ausgaben innerhalb der Dauer unserer Menschengeschichte nicht merklich verringert werden konnten, so weisen doch unerbittliche mechanische Gesetze darauf hin, dafs diese Kraftvorräte, welche nur Verlust und keinen Gewinn erfahren können, endlich erschöpft werden müssen. Sollen wir darüber erschrecken? Die Menschen pflegen die Gröfse und die Weisheit des Weltalls danach abzumessen, welche Dauer und welchen Vorteil es ihrem eigenen Geschlechte verspricht; aber schon die vergangene Geschichte des Erdballs zeigt, einen wie winzigen Augenblick in seiner Dauer die Existenz des Menschengeschlechtes ausgemacht hat. Ein wendisches Thongefäfs, ein römisches Schwert, das wir im Boden finden, erregt in uns die Vorstellung grauen Altertums. Was uns die Museen von den Überbleibseln Ägyptens und Assyriens zeigen, sehen wir mit schweigendem Staunen an. Und doch mufste das Menschengeschlecht offenbar schon Jahrtausende bestanden haben, ehe die Pyramiden und Ninive gebaut werden konnten. Wir schätzen die Dauer der Menschengeschichte auf 6000 Jahre. So unermefslich uns dieser Zeitraum auch erscheinen mag, wo bleibt er gegenüber den Zeiträumen, während welcher die Erde schon eine lange Reihenfolge jetzt ausgestorbener, einst üppiger Tier- und Pflanzengeschlechter aber noch keine Menschen trug, während welcher der Bernsteinbaum grünte und sein kostbares Harz in die Erde träufelte, als in Sibirien, Europa und dem Norden Amerikas tropische Palmenhaine wuchsen, Rieseneidechsen und später Elefanten hausten, deren mächtige Reste wir noch im Erdboden begraben finden.

Und wiederum war die Zeit, in welcher die Erde organische Wesen erzeugte, nur klein gegenüber derjenigen, in welcher sie ein Ball geschmolzenen Gesteins gewesen ist. Für die Dauer ihrer Abkühlung von 2000 auf 200 Grad ergeben sich nach Versuchen über die Erkaltung geschmolzenen Basalts etwa 350 Millionen Jahre. Über die Zeit endlich, welche verflofs, ehe sich der Ball des Urnebels zum Planetensystem verdichtete, müssen unsere kühnsten Vermutungen schweigen. Die bisherige Menschengeschichte war also nur eine kurze Welle in dem Ozean der Zeiten. Für viel längere

Reihen von Jahrtausenden, als unser Geschlecht bisher gelebt hat, scheint der jetzige seinem Bestehen günstige Zustand der Natur gesichert zu sein, so daſs wir für uns und lange Reihen von Generationen nach uns noch nichts zu fürchten haben. Aber noch arbeiten an der Erdrinde dieselben Kräfte der Luft, des Wassers und des vulkanischen Innern, welche frühere geologische Umwälzungen verursacht und eine Reihe von Lebensformen nach der anderen begraben haben. Sie werden wohl eher den jüngsten Tag des Menschengeschlechtes herbeiführen als jene weit entlegenen kosmischen Veränderungen, welche wir früher besprachen.

Wie der einzelne den Gedanken seines Todes ertragen muſs, so muſs es auch das Menschengeschlecht; aber es hat vor anderen untergegangenen Lebensformen höhere sittliche Aufgaben voraus, deren Träger es ist und mit deren Vollendung es seine Bestimmung erfüllt.

64. Die Entdeckung des Ozons. 1840.

Schönbein, Über das Ozon[1]).

Schönbein wurde 1799 am 18. Oktober zu Metzingen in Württemberg geboren. Mit 14 Jahren trat er als Lehrling in eine chemische Fabrik ein, arbeitete aber gleichzeitig mit unermüdlichem Fleiſs an seiner wissenschaftlichen Ausbildung. Nachdem Schönbein in Tübingen und in Paris Physik und Chemie studiert hatte, bekleidete er seit 1829 das akademische Lehramt in Basel; er starb im Jahre 1868.

Schönbeins Hauptverdienst besteht in der Erfindung der Schieſsbaumwolle (1846) und in der Entdeckung des Ozons, einer Abart des Sauerstoffs, die Schönbein als Ursache des schon lange vorher bekannten, aber bis dahin unerklärt gebliebenen elektrischen Geruches erkannte. Hier sei eine der wichtigsten seiner zahlreichen Abhandlungen über das Ozon im Auszuge wiedergegeben.

Im Laufe des vergangenen Jahrzehnts beschäftigten mich vorzugsweise elektrochemische Arbeiten, bei welchen ich nicht selten Wasser und andere Körper elektrolytisch zu zerlegen hatte. Da es die angestellten Versuche zuweilen mit sich brachten, daſs die

1) Denkschrift über das Ozon, abgefaſst von Christian Friedrich Schönbein. Basel 1849.

ausgeschiedenen Elemente des Wassers nicht gesammelt wurden, sondern in die Luft gingen, so war es dieser Umstand zunächst, der Veranlassung zur Entdeckung der Materie gab, welcher ich ihres Geruches halber den Namen Ozon beigelegt habe.

Dieser Geruch war demjenigen vollkommen gleich, welcher beim Ausströmen der Elektricität in die atmosphärische Luft auftritt. Die Beobachtung dieser sonderbaren Erscheinung sowie vollständige Unwissenheit, in der wir uns damals noch über die Ursache jenes sogenannten elektrischen Geruches befanden, bestimmten mich, der Sache eine ganz besondere Aufmerksamkeit zu schenken und zu versuchen, den Grund dieser rätselhaften Erscheinung aufzufinden.

Im Jahre 1840 suchte ich durch eine Reihe von mir ermittelter Thatsachen den Beweis zu liefern, dafs der elektrische oder Blitzgeruch von derselben Materie herrühre, welche bei der elektrolitischen Wasserzersetzung an dem positiven Pole neben dem Sauerstoff zum Vorschein kommt.

Einige Jahre später gelang es mir auf rein chemischem Wege, d. h. mit Hülfe des Phosphors [1]), aus der atmosphärischen Luft Ozon in einer Menge zu erzeugen, die es mir gestattete, die physikalischen, chemischen und physiologischen Wirkungen dieses sonderbaren Körpers genauer, als es bis dahin geschehen konnte, zu ermitteln. Seit dieser Zeit hat die Erforschung des Ozons den gröfsten Teil meiner Mufsestunden in Anspruch genommen.

Ich ozonisierte mit Hülfe des Phosphors den Luftgehalt eines sechzig Liter fassenden Ballons bis zum Maximum, entfernte hierauf den Phosphor aus dem Gefäfs und leitete die mittelst Wasser gewaschene ozonisierte Luft durch eine 3′ lange und 1″ weite Röhre, welche mit von Schwefelsäure durchtränktem Bimsstein gefüllt war [2]). Daran schlofs sich eine 18″ lange, enge und schwer schmelzbare Glasröhre, die selbst wieder in eine dritte 1′ lange, $^1/_2$″ weite, mit schwefelsäurehaltigem Bimsstein gefüllte und genau abgewogene Röhre einmündete. Letztere stand mit einer 1′ langen, 1″ weiten Chlorcalciumröhre in Verbindung, an welche eine kleine rechtwinkelig gebogene Röhre gefügt war. Wurde die zweite schwer schmelzbare Röhre nicht erhitzt, so roch die aus dem Apparat tretende Luft stark nach Ozon. Liefs man diese Luft durch die

[1]) Ozon bildet sich aus gewöhnlichem Sauerstoff bei der langsamen Oxydation des Phosphors an feuchter Luft.

[2]) Schwefelsäure sowie Chlorcalcium befreien darübergeleitetes Gas von beigemengter Feuchtigkeit.

gebogene Röhre in jodkaliumkleisterhaltiges Wasser gehen, so färbte sich dasselbe augenblicklich tiefblau, ein Beweis, dafs die ozonisierte Luft unverändert durch alle Röhren gegangen war [1]).

Bei näherer Betrachtung der beschriebenen Vorrichtung sieht man leicht, dafs die mit dem ozonhaltigen Ballon unmittelbar verbundene längste Röhre zum Trocknen der feuchten ozonisierten Luft, die nächstfolgende Röhre zur Erhitzung, d. h. Zerstörung des durchströmenden Ozons, die dritte Röhre zur Aufnahme des hierbei etwa zum Vorschein kommenden Wassers bestimmt war. Die dann folgende Chlorcalciumröhre sollte dazu dienen, das Eintreten von Feuchtigkeit aus der äufseren Luft in die dritte Röhre zu verhindern. Die letzte Röhre hatte die aus dem Apparate tretende Luft in jodkaliumkleisterhaltiges Wasser zu führen, um an dessen Weifsbleiben oder Bläuung sehen zu können, ob die Luft ihren Ozongehalt vollständig verloren habe oder nicht. Wurde mehrere Stunden hindurch feuchte ozonisierte Luft durch die beschriebene Vorrichtung geleitet, so verursachte dies nicht die geringste Zunahme des Gewichtes der dritten Röhre, was den Beweis lieferte, dafs die erste Röhre die durchgeströmte Luft vollkommen getrocknet, und die dritte Röhre auch nicht von der anderen Seite her wägbare Mengen Wasser erhalten hatte.

Stellte ich den Versuch so an, wie eben beschrieben, mit dem Unterschiede jedoch, dafs die zweite enge Röhre unseres Apparates durch vier darunter gestellte lebhaft brennende Weingeistlampen ununterbrochen erhitzt und hierdurch alles durchströmende Ozon vollständig zerstört wurde (was aus dem Weifsbleiben des jodkaliumkleisterhaltigen Wassers, in welches man die durch den Apparat gegangene Luft leitete, leicht zu ersehen war), so konnte ich nicht die geringste Vermehrung des Gewichtes der dritten Röhre bemerken, nachdem 300 Liter Luft durch die Vorrichtung geströmt waren. Hieraus erhellt zunächst, dafs keine nachweisbare Menge Wasser aus dem Ozon sich bildete, welches in 300 Litern bis zum Maximum ozonisierter Luft enthalten und durch Erhitzung vollständig zerstört worden war [2]).

[1]) Gewöhnlicher Sauerstoff verändert das Gemenge von Jodkalium und Stärkekleister nicht, während Ozon das Kalium oxydiert und so das Jód frei macht. Letzteres geht mit Stärkekleister eine tiefblaue Verbindung ein. Jodkaliumstärkekleister ist daher das gebräuchlichste Mittel zum Nachweise von Ozon.

[2]) Hiermit war eine Vermutung widerlegt, von der Schönbein zunächst sich leiten liefs, dafs nämlich Ozon ähnlich dem Wasserstoffsuperoxyd eine eigentümliche Oxydationsstufe des Wasserstoffs sei und beim Erhitzen dadurch zerstört werde, dafs es in Wasser und Sauerstoff zerfalle.

Da auch in chemisch reinem und möglichst wasserfreiem Sauerstoff durch elektrische Funken Ozon hervorgerufen wird, und da, wie wir gesehen haben, eine verhältnismäfsig grofse Menge sorgfältigst getrockneter, durch Phosphor möglichst stark ozonisierter Luft, welche bis zur völligen Zerstörung des Ozons erhitzt wurde, keine wägbare Menge Wasser lieferte, so gewinnt es den Anschein, als ob das Ozon nur veränderter Sauerstoff und somit ein einfacher Körper wäre[1]).

Gleich beim Beginn meiner Untersuchungen über das Ozon fand ich, dafs dasselbe durch eine Reihe oxydierbarer Körper, namentlich durch die meisten Metalle, schon in der Kälte zerstört wird. Später ermittelte ich, dafs die niedrigeren Oxydationsstufen mancher dieser Körper mit Hülfe des Ozons in die höheren übergeführt werden, z. B. die Oxyde des Mangans und des Bleis in die Superoxyde dieser Metalle.

Diese Thatsachen machten es wahrscheinlich, dafs auch manche Metalle selbst, in Berührung mit Ozon, bei gewöhnlicher Temperatur bis zum Maximum sich oxydieren würden. Hierüber angestellte Versuche haben über die Richtigkeit dieser Vermutung keinen Zweifel gelassen.

Auf elektrolytischem Wege dargestelltes Silberpulver wird durch eine etwa 3′ lange und 4″ weite Glasröhre gleichförmig verteilt und darüber längere Zeit möglichst stark ozonisierte Luft geleitet, welche vorerst durch Wasser und dann über Chlorcalcium oder schwefelsäurehaltigen Bimsstein gegangen und somit von beigemengter Säure und Feuchtigkeit befreit war.

Die ozonisierte Luft strömt nicht lange über das Silberpulver, ohne ihre oxydierende Wirkung durch die eintretende Färbung des Metalls zu äufsern, welches erst bräunlich und nach und nach sammetschwarz wird.

Wegen der verhältnismäfsig kleinen Menge des in dieser Luft vorhandenen Ozons, wie auch infolge des Umstandes, dafs ein Teil dieses Ozons unverwendet über das Silber wegströmt, wird es leicht begreiflich, dafs die vollständige Oxydation selbst sehr kleiner Mengen des Metalls eine ziemlich lange Zeit erfordert. Um z. B. nur zwei Gramm Silber vollständig zu oxydieren, war ein ununterbrochenes vierzehntägiges Strömen stark ozonisierter Luft über

---

1) Diese Ansicht wurde durch alle späteren Untersuchungen bestätigt.

das Metall erforderlich. Kaum wird es der Bemerkung bedürfen, dafs die das Silberpulver enthaltende Röhre von Zeit zu Zeit gedreht werden mufs, um alle Metallteilchen in Berührung mit dem strömenden Ozon zu bringen; ich darf aber nicht vergessen, hier ausdrücklich zu bemerken, dafs feuchte ozonisierte Luft merklich rascher als die trockene oxydierend auf das Silber einwirkt. Um sicher zu sein, dafs bei dem beschriebenen Versuche alles angewandte Silber oxydiert sei, bringt man eine kleine Menge besagter sammetschwarzer Materie erst mit verdünnter Salzsäure zusammen und fügt dann wässeriges Ammoniak im Überschusse hinzu. Wird hierbei eine klare Flüssigkeit erhalten, d. h. verschwindet das schwarze Pulver ohne einen Rückstand zu hinterlassen, so findet sich in demselben aus leicht einsehbaren Gründen auch kein metallisches Silber mehr vor [1]).

Bei einer Temperatur, die noch weit unter der Glühhitze liegt, wird unsere schwarze Materie weifs, d. h. sie wird in metallisches Silber übergeführt unter Entbindung eines farb- und geruchlosen Gases, das sich in jeder Beziehung wie reines Sauerstoffgas verhält.

Da unsere Materie mir bei der Erhitzung als Mittel aus den Ergebnissen dreier Versuche 87 % metallisches Silber lieferte, so darf man sie wohl als AgO betrachten und annehmen, dafs bei der Einwirkung des Ozons auf Silber das reine Superoxyd dieses Metalls gebildet werde [2]).

65. Der rote Phosphor wird als eine Abart des Elementes Phosphor erkannt. 1850.

Schrötter, Über einen neuen allotropischen Zustand des Phosphors [3]).

Schrötter wurde 1802 am 26. November zu Olmütz geboren, studierte in Wien und bekleidete seit 1830 eine Professur in Graz. Im Jahre 1843 wurde Schrötter Professor der Chemie in Wien; er starb im Jahre 1875.

---

1) Letzteres ist nämlich in den angewandten Mitteln nicht löslich.

2) Das Oxyd des Silbers ist entsprechend der Formel Ag_2O zusammengesetzt. Das Superoxyd Ag_2O_2 oder AgO enthält 87,1 % Silber.

3) Poggendorffs Annalen der Physik und Chemie. Jahrgang 1850. 81. Bd. S. 276 ff.

Der rote Phosphor war schon lange bekannt, aber nicht richtig gedeutet. Schrötter gelang es, wie wir in nachfolgendem sehen werden, den roten als eine Abart des gewöhnlichen Phosphors nachzuweisen. Durch das eingehende Studium der roten Abart wurde er auch auf ihre sanitäre Bedeutung geführt; er hat sich dadurch ein bleibendes Verdienst um die Technik der Zündstoffe erworben.

Es ist eine seit langer Zeit bekannte Thatsache, dafs der Phosphor, der Einwirkung des Lichtes ausgesetzt, eine rote Farbe annimmt. Über die Ursache dieser interessanten Erscheinung herrschen die verschiedensten Ansichten, und man ist darüber ebenso wenig im reinen, wie über die näheren Umstände, unter welchen die obige Veränderung vor sich geht. Berzelius[1]) schreibt das Rotwerden des Phosphors dem Übergange desselben in eine Abart zu. Andere Gelehrte bezeichnen den rotgefärbten Phosphor als mit Phosphoroxyd gemengten Phosphor und Gmelin[2]), der ebenfalls dieser Ansicht ist, hält es für wahrscheinlich, dafs der selbst im Vakuum und in sauerstofffreien Gasen durch die Einwirkung des Lichtes rot werdende Phosphor nicht ganz trocken sei, der zur Oxydbildung erforderliche Sauerstoff also von dem Wasser herrühren könne.

Dieses war der Zustand unserer Kenntnisse in Bezug auf die Frage, welches die wahre Ursache des Rotwerdens des Phosphors sei, als ich im Jahre 1845 veranlafst wurde, dieses rätselhafte Verhalten näher zu untersuchen.

Es schien mir vor allem notwendig auszumitteln, ob denn wirklich die Gegenwart von Sauerstoff, sei es des freien oder des z. B. an Wasserstoff gebundenen, zum Rotwerden des Phosphors erforderlich sei. Zu diesem Behufe brachte ich vollkommen reinen, farblosen, so gut wie möglich getrockneten Phosphor in eine Kugelröhre und setzte diese mit einem Apparate in Verbindung, aus welchem sich Kohlendioxyd entwickelte. Vor dem Anlegen der Röhre, welche den Phosphor enthielt, liefs ich das Kohlendioxyd so lange durch ein zum Reinigen und Trocknen desselben bestimmtes Röhrensystem strömen, bis das Gas vollkommen von aller atmosphärischen Luft befreit war. Ich leitete nun das Gas so lange bei gewöhnlicher Temperatur über den Phosphor, bis es von Kalilauge vollständig absorbiert wurde[3]), und erhitzte den Phosphor

---

[1]) Siehe 44, S. 255.

[2]) Leopold Gmelin (1788—1853), Professor der Chemie in Heidelberg.

[3]) Dies ist das Zeichen, dafs die Luft aus dem Apparate völlig verdrängt ist.

dann nach und nach, bis weit über 100°, um so alle Feuchtigkeit zu entfernen. Nachdem dieser Zweck vollkommen erreicht war, wurde die Röhre, ohne sie von dem Apparate zu trennen, an beiden Enden zugeschmolzen. Nachdem der Phosphor auf diese Weise weder mit freiem Sauerstoff noch mit Wasser in Berührung war, überliefs ich ihn der Einwirkung des Lichtes. Schon nach kurzer Zeit fing er an, rot zu werden, und zwar umso rascher, je intensiveres Licht darauf einwirkte. Aber auch im zerstreuten Lichte, bei einer Temperatur von 14° C. war der Phosphor nach wenigen Tagen intensiv rot gefärbt. Es war hierbei ganz deutlich zu bemerken, dafs der Phosphor nicht, wie man häufig meint, durch seine ganze Masse rot wird, sondern dafs sich ein roter, fester Körper in feinen Teilchen aus demselben abscheidet. Derselbe Versuch wurde immer mit gleichem Erfolge auch in Wasserstoff, der aufs sorgfältigste gereinigt war, sowie in Stickstoff angestellt.

Aus den angegebenen Thatsachen mufs, glaube ich, der Schlufs gezogen werden, dafs die Veränderung, welche der Phosphor durch die Einwirkung des Lichtes erleidet, von der Gegenwart des Sauerstoffs gänzlich unabhängig ist, dafs dieselbe also auf keine Weise durch eine Oxydation bedingt sein kann. Ich werde weiter unten zeigen, dafs der sich hierbei absondernde rote Körper wirklich nichts als reiner Phosphor ist, der sich jedoch in einem anderen, allotropischen Zustande, und zwar in dem amorphen befindet.

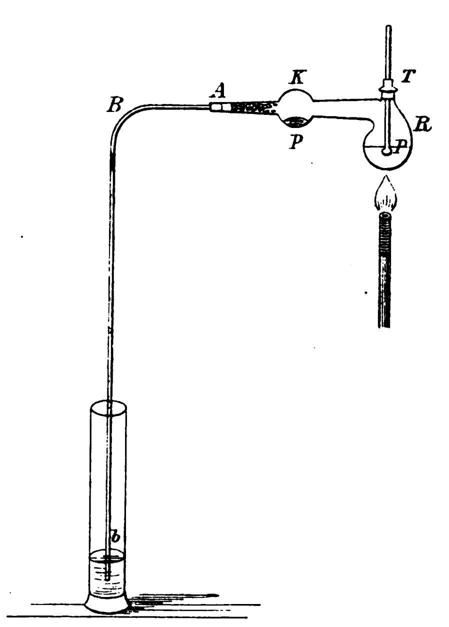


Fig. 52. Die Darstellung des roten Phosphors nach Schrötter.

Es war nun zunächst zu untersuchen, ob die gedachte Veränderung des Phosphors nicht noch auf eine andere Art als durch die Einwirkung des Lichtes hervorgebracht werden könne. Sowohl durch Erscheinungen, die ich bei den obigen Versuchen zu beobachten Gelegenheit hatte, als durch die Überlegung, dafs sich die Wärme

in so vielen Fällen wie das Licht verhält, wurde ich veranlafst, zu versuchen, ob sie sich nicht auch hier mit gleichem Erfolge anstatt des Lichtes verwenden lasse. Zu diesem Zwecke liefs ich an dem Halse einer tubulierten Retorte R von hartem Glase eine Kugel K aufblasen, und brachte dann sowohl in die Retorte selbst als in die Kugel getrockneten Phosphor. Mit dem Halse der Retorte wurde eine Röhre A B b luftdicht verbunden, deren senkrechter, ungefähr 28 Zoll langer Schenkel B b in Quecksilber tauchte. Der Teil des Halses zwischen der Kugel und dem Korke enthielt Chlorcalcium, und in den Tubulus T der Retorte war ein Thermometer, dessen Kugel ganz in den Phosphor tauchte, luftdicht eingekittet. Nachdem der Apparat auf diese Weise vorgerichtet war, erwärmte ich zuerst den in der kleinen Kugel befindlichen Phosphor p soweit, dafs er sich entzündete und auf diese Weise allen in dem Apparat enthaltenen Sauerstoff verzehrte. Um die etwa noch vorhandene geringe Menge Wasser zum Chlorcalcium zu treiben, erhitzte ich nun den in der Retorte befindlichen Phosphor P auf 100° und liefs dann den Apparat erkalten. Das Quecksilber stieg in der Röhre in die Höhe und behielt seinen Standpunkt unverändert bei. Nun erst, als man annehmen konnte, dafs der Phosphor der Retorte sich in einer Atmosphäre von Stickstoff befinde, wurde derselbe stärker erhitzt. Anfangs zeigte sich keine Veränderung. Als jedoch die Temperatur auf 226° C. gestiegen war und längere Zeit in dieser Höhe erhalten wurde, nahm der Phosphor bald die schöne rote Farbe an, welche er durch die Einwirkung des Lichtes erhält. Er wurde nach und nach dickflüssig, immer dunkler und zuletzt völlig undurchsichtig. Diese Veränderung fand jedoch nicht plötzlich, sondern allmählich statt, und ich konnte auch hier sehr deutlich bemerken, dafs sich zuerst am Boden feine rote Teilchen abscheiden, deren Menge schnell zunimmt, und die sich dann durch die ganze Masse gleichförmig verteilen. Wird der Phosphor längere Zeit, etwa 48—60 Stunden, ununterbrochen bei einer Temperatur, die zwischen 240 und 250° C. liegt, erhalten, so setzt sich am Boden des Gefäfses eine mehr oder minder dicke Schicht von amorphem Phosphor ab, während die obere Schicht noch ziemlich viel gewöhnlichen Phosphor enthält. Bringt man in den Kolben, nachdem er erkaltet ist, Wasser von 50—60° C., so schmilzt nur die obere Schicht des Phosphors weg, und man kann aus derselben auf die gewöhnliche Weise Stangen formen. Als ich den eben beschriebenen Versuch so anstellte, dafs die Retorte zugleich vom Lichte getroffen wurde, zeigte es

sich sehr deutlich, dafs die Wirkung des Lichtes und die der Wärme sich gegenseitig unterstützten, so dafs man sagen kann: erwärmter Phosphor wird durch das Licht viel schneller gerötet als kalter.

In folgendem wird sich herausstellen, dafs der rote Körper, welcher sich dem der Einwirkung des Lichtes oder der Wärme ausgesetzten Phosphor beigemengt hat, nichts als amorpher Phosphor ist, der sich gegen den gewöhnlichen, das ist krystallisierten, wie die amorphe Kohle zum Diamant oder Graphit verhält.

Um diesen Beweis zu führen, war es notwendig, entweder den roten Körper zu isolieren und durch quantitative Bestimmungen zu zeigen, dafs derselbe geeignete wägbare Verbindungen in derselben Menge liefert wie gewöhnlicher Phosphor. Oder man mufste die Bildung dieses Körpers unter Umständen bewerkstelligen, die jede Einmischung eines anderen Körpers absolut unmöglich erscheinen lassen, und womöglich unter Beobachtung derselben Vorsichtsmafsregeln auch rückwärts aus dem roten Körper, ohne alle Gewichtsveränderung gewöhnlichen Phosphor darstellen. Ich zog es vor, den letzteren Weg einzuschlagen.

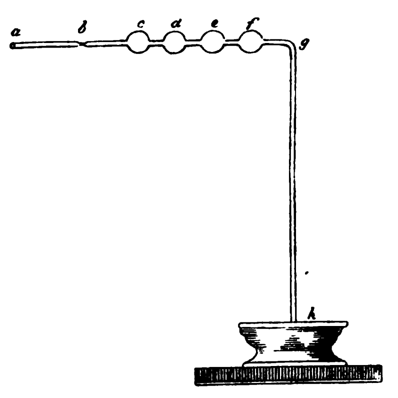


Fig. 53. Schrötters Versuch, um nachzuweisen, dafs der rote Phosphor keine Verbindung, sondern nur eine Abart des gewöhnlichen Phosphors ist[1]).

Es wurde eine Röhre aus hartem Glase so vorgerichtet, wie Fig. 53 zeigt. In die Kugel c brachte ich wohl getrockneten Phosphor und setzte dann bei a die Röhre mit einem Apparat in Verbindung, in welchem Kohlensäure entwickelt und aufs sorgfältigste getrocknet und gereinigt wurde. Bei b war die Röhre etwas eingezogen, und ihr vertikaler, über 28 Zoll langer Schenkel war mit Quecksilber abgesperrt. Ich leitete nun so lange Kohlensäure durch den Apparat, bis das bei h austretende Gas vollständig von Kalilauge absorbiert wurde, also reine Kohlensäure war. Darauf erwärmte ich den Phosphor auf etwas über 100°, um alle Feuchtigkeit durch den fortdauernden Gasstrom zu entfernen, eine Vorsicht,

1) Poggendorffs Annalen, Bd. 81, Taf. I, Fig. 4.

die notwendig ist, weil hierbei meistens noch Spuren von Wasser bemerkt werden. Als die Röhre auf diese Weise vollständig getrocknet war, wurde sie bei b zugeschmolzen und von dem Gasentwickler getrennt. Nach dieser sorgfältigen Vorbereitung erhitzte ich den Phosphor bis zu der Temperatur, wo er rot zu werden anfängt und erhielt ihn eine Zeit lang bei derselben. Hierbei fand nicht die geringste Gasentwicklung oder Absorption statt, und dieses war ebensowenig der Fall, als die Temperatur so weit gesteigert wurde, dafs der Phosphor zu sieden und in die zweite Kugel überzudestillieren anfing. Er sammelte sich in derselben als eine fast wasserhelle, nur etwas gelbliche, das Licht stark zerstreuende Flüssigkeit, während der rote Anteil in der ersten Kugel zurückblieb. Ich behandelte nun den Phosphor in der zweiten Kugel d auf gleiche Art, indem ich ihn zuerst rot werden liefs und dann den ungeändert gebliebenen Teil in die Kugel e überdestillierte. Die gleiche Behandlung erfuhr der Phosphor auch noch in der Kugel e, sodafs zuletzt die Kugeln c, d und e nur roten Phosphor enthielten, während der ungeändert gebliebene sich in der letzten Kugel befand. Nun ging ich wieder zur ersten Kugel c zurück und erhitzte dieselbe abermals. Als die Temperatur hinreichend gesteigert war, fing plötzlich auch der rote Phosphor an zu verschwinden und setzte sich, ohne eine Spur zurückzulassen, in dem kälteren Teile der Röhre in ebenso reinen Tropfen wie der gewöhnliche Phosphor ab. Auf gleiche Weise verfuhr ich auch mit den anderen Kügeln, sodafs zuletzt der gesamte Phosphor wieder in seinem gewöhnlichen Zustande in der letzten Kugel enthalten war. Hierbei hatte sich der Stand des Quecksilbers nicht weiter verändert, als dies durch die abwechselnde Erhöhung und Erniedrigung der Temperatur bedingt wurde. Es war also auf diese Weise der Phosphor in einer vollkommen indifferenten Atmosphäre aus der gewöhnlichen in die rote und aus dieser wieder in die gewöhnliche Modifikation wiederholt übergeführt worden.

Auf dieselbe Art und mit ganz gleichem Erfolge wurde die Umwandlung des Phosphors auch in Wasserstoff und Stickstoff bewerkstelligt, welche beide mit der äufsersten Sorgfalt gereinigt und getrocknet waren.

Aus den angeführten Thatsachen geht nun mit aller Sicherheit hervor, dafs die Umänderung des Phosphors, welche er sowohl durch das Licht als durch die Wärme erleidet, nicht dadurch bedingt sein kann, dafs er sich mit Sauerstoff oder mit irgend

einem anderen Körper verbindet, sondern dafs diese Änderung unter jene merkwürdigen Molekularveränderungen gehört, welche auch die verschiedenen isomeren Zustände der zusammengesetzten Körper bedingen, und die wir, wenn sie an Grundstoffen vorkommen, allotropische nennen. Es ist merkwürdig, dafs der Kohlenstoff ein ganz ähnliches Verhalten zeigt. Wird nämlich der Diamant eine Zeit lang stark erhitzt, so wird er ganz schwarz und undurchsichtig, was nur von einem Übergang in den amorphen Zustand herrühren kann.

Um den amorphen Phosphor zu isolieren, versuchte ich zuerst den ungeändert gebliebenen Anteil durch Destillation von dem geänderten zu trennen. Dies läfst sich zwar bewerkstelligen, allein der amorphe Phosphor bleibt dann in Krusten an dem Glase hängen, die schwer davon zu trennen sind. Weit zweckmäfsiger ist es daher, Schwefelkohlenstoff anzuwenden, welcher merkwürdigerweise den amorphen Phospor garnicht löst, während er doch ein so vortreffliches Lösungsmittel für den gewöhnlichen ist.

Dieses Verhalten des Schwefelkohlenstoffs hatte ich nämlich schon früher an dem durch das Licht geröteten Phosphor beobachtet, und da ich darin ein so leichtes Mittel sah, den roten von dem übrigen Phosphor zu trennen, so wurde dieses Verhalten gewissermafsen der Ausgangspunkt für die vorliegende Arbeit.

Im Finstern leuchtet der amorphe Phosphor bei gewöhnlicher Temperatur gar nicht, erhitzt man denselben aber bis nahe zu der Temperatur, wo er sich entzündet, so beginnt er schwach zu leuchten. Läfst man ihn jedoch, wenn er zu leuchten begonnen hat, erkalten, so hört er jedesmal wieder auf zu leuchten.

Chlorgas wirkt auf den amorphen Phosphor schon bei gewöhnlicher Temperatur und giebt damit zwar unter Erhitzung, aber, was sehr merkwürdig ist, ohne alle Lichterscheinung zuerst Phosphorchlorür, dann Phosphorchlorid.

Chlorsaures Kalium verpufft, in einer Reibschale mit rotem Phosphor zusammengerieben, mit grofser Heftigkeit und beträchtlicher Lichterscheinung. Werden beide Körper zusammen erwärmt, so erfolgt die Verpuffung weit weniger heftig.

Auch mit Bleisuperoxyd zusammengerieben findet Feuererscheinung unter schwacher Verpuffung statt; beim Erwärmen des Gemenges hingegen ist die Explosion sehr heftig.

Das hier angeführte Verhalten des amorphen oder roten Phosphors reicht hin, denselben vollkommen zu kennzeichnen. Es geht daraus hervor, dafs der rote Phosphor:

1. Im ganzen weit indifferenter als der gewöhnliche Phosphor ist.
2. Dafs er unlöslich in Schwefelkohlenstoff ist.
3. Dafs ihm die Fähigkeit, sich mit anderen Körpern unter Lichtentwicklung zu verbinden, in einem weit geringeren Grade zukommt als dem gewöhnlichen Phosphor.
4. Endlich, dafs er sehr vielen Sauerstoffverbindungen sowohl beim Erwärmen als auch schon beim Zusammenreiben oder durch einen Stofs unter Feuererscheinung den Sauerstoff entzieht.

Von praktischem Interesse dürfte das eben angegebene Verhalten des amorphen Phosphors gegen einige Oxyde sein, indem er dadurch mit gröfstem Vorteile zum Verfertigen sowohl von Streichzündhölzchen als von Zündern für Gewehre und Geschütze gebraucht werden kann. Hierbei wären alle bisherigen Mängel der Zündpräparate dieser Art, wie das Anziehen von Feuchtigkeit, schädlicher Einflufs auf die Gesundheit der Arbeiter, Gefahr beim Transporte u. s. w. wegen der Indifferenz des amorphen Phosphors vollständig beseitigt.

---

66. Humboldt vereinigt die Summe des Naturwissens seiner Zeit zu einem Gesamtbilde. 1845.

Allgemeine Übersicht der Erscheinungen[1].)

Alexander von Humboldt wurde in Berlin am 14. September 1769 geboren. Vom Jahre 1787 bis 1790 studierte er als Berufswissenschaft Jurisprudenz, gleichzeitig wandte er sich aber mit grofsem Eifer dem Studium der Naturkunde zu. 1792 sehen wir Humboldt als Schüler des berühmten Mineralogen Werner in Freiberg. Darauf widmete er sich einige Jahre dem staatlichen Bergwesen und der Vorbereitung für ein gröfseres Reiseunternehmen. Dieses nahm fünf Jahre in Anspruch (1799—1804) und erstreckte sich auf die wichtigsten Teile des tropischen Süd und Mittelamerikas. Von 1808—1826 war Humboldt in Paris mit der Herausgabe des grofsen Werkes über diese Reise beschäftigt.

---

1) Kosmos oder Entwurf einer physischen Weltbeschreibung von A. v. Humboldt. Gekürzte Wiedergabe des dritten Abschnittes (Bd. I, S. 79—386). Cottasche Ausgabe, Stuttgart und Tübingen 1845.

1827 nahm er auf Wunsch seines Königs ständigen Aufenthalt in Berlin, der aber bald darauf durch eine Expedition in das asiatische Rufsland (1829) unterbrochen wurde. Humboldt starb am 6. Mai 1859. Mit ihm schied ein Geist, der es noch einmal gewagt hatte, das zu einem mächtigen Strome angeschwollene Wissen seiner Zeit in sich aufzunehmen und zu einem Gesamtbilde zu verarbeiten. So entstand der „Kosmos“, ein einzigartiges Buch. Durch die Gröfse der darin gelösten Aufgabe, wissenschaftliche Gründlichkeit des Inhalts und vollendete sprachliche Darstellung hat Humboldt sich und seinem Vaterlande in diesem Schriftwerke ein unvergängliches Denkmal gesetzt.

Wenn der menschliche Geist sich erkühnt, die Materie, d. h. die Welt physischer Erscheinungen zu beherrschen, wenn er bei denkender Betrachtung des Seienden die reiche Fülle des Naturlebens, das Walten der freien und gebundenen Kräfte zu durchdringen strebt, so fühlt er sich zu einer Höhe gehoben, von der herab, bei weit hinschwindendem Horizonte, ihm das Einzelne nur gruppenweise verteilt, wie umflossen von leichtem Dufte erscheint. Dieser bildliche Ausdruck ist gewählt, um den Standpunkt zu bezeichnen, aus dem wir hier versuchen, das Universum zu betrachten und in seinen beiden Sphären, der himmlischen und der irdischen, anschaulich darzustellen.

Wir beginnen mit den Tiefen des Weltraumes und der Region der fernsten Nebelflecke, stufenweise herabsteigend durch die Sternschicht, der unser Sonnensystem angehört, zu dem luft- und meerumflossenen Erdsphäroid, seiner Gestaltung, Temperatur und magnetischen Spannung, zu der Lebensfülle, welche, vom Lichte angeregt, sich an seiner Oberfläche entfaltet. So umfafst ein Weltgemälde in wenigen Zügen die ungemessenen Himmelsräume, wie die mikroskopisch kleinen Organismen des Tier- und Pflanzenreichs, welche unsere stehenden Gewässer und die verwitternde Rinde der Felsen bewohnen.

Erst in den Lebenskreisen der organischen Bildung erkennen wir recht eigentlich unsere Heimat. Wo der Erde Schofs ihre Blüten und Früchte entfaltet, wo er die zahllosen Geschlechter der Tiere nährt, da tritt das Bild der Natur lebendiger vor unsere Seele; der glanzvolle Sternenteppich, die weiten Himmelsräume gehören dagegen einem Weltgemälde an, in dem die Gröfse der Massen, die Zahl zusammengedrängter Sonnen oder aufdämmernder Lichtnebel unsere Bewunderung und unser Staunen erregen, dem wir

uns aber, bei scheinbarer Verödung, bei völligem Mangel an dem unmittelbaren Eindruck eines organischen Lebens, wie entfremdet fühlen. So sind denn auch nach den frühesten physikalischen Ansichten der Menschheit Himmel und Erde, räumlich ein Oben und Unten, von einander getrennt geblieben. Sollte demnach ein Naturbild blofs den Bedürfnissen der sinnlichen Anschauung entsprechen, so müfste es mit der Beschreibung des heimischen Bodens beginnen.

Es würde zuerst den Erdkörper in seiner Gröfse und Form schildern, seine mit der Tiefe zunehmende Dichtigkeit und Wärme, seine über einander gelagerten starren und flüssigen Schichten; es würde die Scheidung von Meer und Land schildern, sowie das Leben, das sich in beiden als zelliges Gewebe der Pflanzen und Tiere entwickelt, den wogenden, stromreichen Luftocean, von dessen Boden waldgekrönte Bergketten wie Klippen und Untiefen aufsteigen. Nach dieser Schilderung erhöbe sich der Blick zu den Himmelsräumen. Die Erde, der uns wohlbekannte Sitz organischer Gestaltungsvorgänge, würde nun als Planet betrachtet; er träte in die Reihe der Weltkörper, die um einen der zahllosen selbstleuchtenden Sterne kreisen. In einem Weltgemälde indes darf das Irdische nur als ein Teil des Ganzen, als diesem untergeordnet erscheinen. Wir beginnen daher nicht mit unserer Erde, sondern mit dem, was die Himmelsräume erfüllt.

Hier sehen wir die Materie teils zu rotierenden und kreisenden Weltkörpern von sehr verschiedener Dichtigkeit und Gröfse geballt, teils dunstförmig als Lichtnebel zerstreut. Man glaubt letztere mannigfaltigen, fortschreitenden Gestaltungs-Prozessen unterworfen, je nachdem sich in ihnen der Weltdunst um einen oder um mehrere Kerne nach den Gesetzen der Anziehung verdichtet.

Gehen wir zu dem geballten, starren Teil des Universums über, so nähern wir uns einer Klasse von Erscheinungen, die ausschliefslich mit dem Namen Gestirne bezeichnet werden. Aber auch hier sind die Grade der Dichtigkeit verschieden. Wenn man den Merkur mit der Sonne, dem Jupiter und dem Saturn vergleicht, so gelangt man in absteigender Stufenfolge, um an irdische Stoffe zu erinnern, von der Dichtigkeit des Antimonmetalles zu der des Honigs, des Wassers und des Tannenholzes.

Was Kant nach Vernunftschlüssen von der allgemeinen Anordnung des Weltgebäudes geahnt[1]), ist durch William Herschel auf dem sicheren Wege der Beobachtung und Messung ergründet

---

[1]) Siehe 27, S. 127.

worden. Der grofse, begeisterte und doch so vorsichtig forschende Mann hat zuerst das Senkblei in die Tiefen des Himmels geworfen, um die Grenzen und die Form der abgesonderten Sternschicht zu bestimmen, die wir bewohnen. Er hat es zuerst gewagt, die Verhältnisse der Lage und des Abstandes ferner Nebelflecke zu unserer Sternschicht aufzuklären. Wie Columbus ist er vorgedrungen in ein unbekanntes Weltmeer, Küsten und Inselgruppen erblickend, deren letzte wahre Ortsbestimmung kommenden Jahrhunderten vorbehalten bleibt[1]).

Unter den vielen selbstleuchtenden, ihren Ort verändernden Sonnen, welche unsere Weltinsel bilden, ist unsere Sonne die einzige, die wir als Centralkörper durch wirkliche Beobachtung in dem Verhältnis zu der von ihr unmittelbar unabhängigen, um sie kreisenden geballten Materie kennen. Letztere besteht nach unserer jetzigen Kenntnis aus elf Hauptplaneten[2]), achtzehn Monden oder Nebenplaneten und Myriaden von Kometen, von denen drei das enge Gebiet der Hauptplaneten nicht verlassen. Mit nicht geringer Wahrscheinlichkeit dürfen wir auch dem Gebiete unserer Sonne zuzählen: erstens einen Ring dunstartiger Materie, vielleicht zwischen der Venus- und Marsbahn gelegen, gewifs die Erdbahn überschreitend und uns als Zodiakallicht sichtbar; zweitens eine Schar von sehr kleinen Weltkörpern, deren Bahnen unsere Erdbahn schneiden und die Erscheinungen von Meteoriten und Sternschnuppen darbieten.

Obgleich Halley schon die grofse Feuerkugel von 1686, deren Bewegung der Bewegung der Erde in ihrer Bahn entgegengesetzt war, für ein kosmisches Phänomen erklärte, so ist es doch erst Chladni gewesen, der in der gröfsten Allgemeinheit (1794) den Zusammenhang zwischen den Feuerkugeln und den aus der Atmosphäre herabgefallenen Steinen, wie die Bewegung der ersteren im Weltraume auf das Scharfsinnigste erkannt hat[3]).

Wenn man die im Durchschnitt uns gewifs näheren Sterne erster Gröfse mit den teleskopischen, wenn man die Nebelsterne mit den ganz unauflöslichen Nebelflecken vergleicht, so drängt sich uns eine Thatsache auf, welche die Welt der Erscheinungen und das, was ihr ursächlich zu Grunde liegt, als abhängig von der Fortpflanzung des Lichtes zeigt. Die Geschwindigkeit des Lichtes

---

1) Siehe Abschnitt 29 d. Bds.

2) Von den Planetoiden waren vor 1845 nur Vesta, Juno, Ceres und Pallas bekannt; seitdem hat man mehrere hundert entdeckt.

3) Siehe 30, S. 154.

von warmen und kalten Strömungen flufsartig durchschnitten, gerinnt an beiden Polen und wandelt das Wasser in dichte Massen um, bald geschichtet und feststehend, bald in bewegliche Bänke zertrümmert. Die Grenzen von Meer und Land wurden mannigfach und oft verändert. Nach der Hebung der Kontinente traten auf langen Spalten, meist in paralleler Richtung, Gebirgsketten empor.

Nicht nur die mineralogische Beschaffenheit, die krystallinisch-körnigen und die dichten, mit Versteinerungen angefüllten Gebirgsarten, sondern auch die geometrische Gestalt der Erde selbst bezeugt die Art ihrer Entstehung. Ein Rotationsellipsoid deutet auf eine einst weiche oder flüssige Masse hin. Zu den ältesten geologischen Begebenheiten, allen Verständigen lesbar in dem Buche der Natur niedergeschrieben, gehört die Abplattung, deren Gröfse man durch Gradmessungen und Pendelschwingungen ermittelt hat.

Pendelschwingungen und Bleilot haben auch dazu gedient, die mittlere Dichtigkeit der Erde zu bestimmen. Sei es, dafs man die Ablenkung des Bleilots von der Vertikalen in der Nähe eines Berges suchte, oder dafs man durch Vergleichung der Pendellänge in der Ebene und auf dem Gipfel einer Anhöhe, oder endlich durch Anwendung der Drehwage, die man als ein horizontal schwingendes Pendel betrachten kann, die relative Dichtigkeit der nahen Erdschichten mafs. Die letzte dieser drei Methoden ergiebt nach den neuesten Versuchen 5,44, d. h. sie zeigt, dafs die mittlere Dichtigkeit der ganzen Erde soviel mal gröfser ist als die des reinen Wassers.

Dafs mit zunehmender Tiefe die Wärme des Erdkörpers wächst, bezeugt die Temperatur des Gesteins in den Bergwerken, vor allem aber der Ergufs geschmolzener Massen aus geöffneten Spalten. Am schwierigsten für unsere Fassungskraft ist die Vorstellung von der Grenzlinie zwischen der flüssigen Masse des Innern und den schon erhärteten Gebirgsarten der äufseren Erdrinde. Sonne und Mond, welche das Meer in Ebbe und Flut versetzen, wirken höchst wahrscheinlich auch bis zu jenen Tiefen. Unter dem Gewölbe schon erstarrter Gebirgsarten kann man periodische Hebungen und Senkungen der geschmolzenen Masse, Ungleichheiten des gegen das Gewölbe ausgeübten Druckes vermuten. Das Mafs und die Wirkung solcher Schwankungen kann aber nur gering sein; und wenn der relative Stand der anziehenden Weltkörper auch hier Springfluten erregen mufs, so ist doch gewifs nicht diesen

sondern mächtigeren inneren Kräften die Erschütterung der Erdoberfläche zuzuschreiben.

So uralt auch bei den westlichen Völkern die Kenntnis der Ziehkraft natürlicher Magnete zu sein scheint, so war doch die Richtkraft einer Magnetnadel, ihre Beziehung zu dem Erdmagnetismus, lange Zeit nur dem äufsersten Osten von Asien, den Chinesen, bekannt. Wenigstens 700 Jahre vor der Einführung des Schiffskompasses in Europa segelten schon chinesische Fahrzeuge im indischen Ocean nach magnetischer Weisung.

Die magnetische Kraft unseres Planeten offenbart sich an seiner Oberfläche in drei Klassen von Erscheinungen, deren eine die veränderliche Intensität der Kraft, zwei andere die veränderliche Richtung in der Neigung und in der horizontalen Abweichung vom Meridian des Ortes darbieten. Doch sind alle magnetischen Erscheinungen einem ewigen Wechsel, einer schwankende Bewegung nach den Stunden des Tages und der Nacht, nach den Jahreszeiten und dem Verlauf der Jahre unterworfen. Von Toronto in Canada bis zum Vorgebirge der guten Hoffnung, von Paris bis Peking ist die Erde seit dem Jahre 1828 mit magnetischen Warten bedeckt worden, in denen ununterbrochen durch schwankende Beobachtungen jede regelmäfsige oder unregelmäfsige Regung der Erdkraft erspäht wird. Nie ist eine so grofsartige, so erfreuliche Anstrengung gezeigt worden, um das Quantitative der Gesetze in einer Naturerscheinung zu ergründen. Man darf daher wohl mit Recht hoffen, dafs diese Gesetze, mit denen verglichen, welche im Luftkreise und in noch entfernteren Räumen walten, uns allmählich der Ursache der magnetischen Erscheinungen selbst näher führen werden.

Die Physik der Erde reiht Gruppen von Erscheinungen, welche auf den ersten Blick in keinem Zusammenhang zu stehen scheinen, wie Thermalquellen, Ausströmungen von Kohlensäure, Schlammausbrüche und die furchtbaren Verheerungen feuerspeiender Berge, aneinander. In einem grofsen Naturbilde schmilzt dies alles in den Begriff der Reaktion des Innern eines Planeten gegen seine Rinde zusammen. In den Tiefen der Erde erkennen wir ferner die Keime erschütternder Bewegung, allmählicher Hebung ganzer Kontinente sowohl wie der Bergketten und mannigfaltiger Erzeugung von Mineralien und Gebirgsarten. Aber nicht die unorganische Natur allein ist unter dem Einflusse dieser Reaktion des Inneren gegen das Äufsere geblieben. Es ist sehr wahrscheinlich, dafs in der Urwelt mächtigere Ausströmungen von kohlensaurem Gas, dem

Luftkreise beigemengt, den Kohle abscheidenden Prozefs des Pflanzenlebens erhöhten, und dafs so ein unerschöpfliches Material von Brennstoff (Braunkohle und Steinkohle) in den oberen Erdschichten vergraben wurde. Auch die Schicksale der Menschheit erkennen wir als teilweise abhängig von der Gestaltung der äufseren Erdrinde, von der Richtung der Gebirgszüge und Hochländer, sowie der Gliederung der gehobenen Kontinente.

Die Wirkung eines feuerspeienden Berges, so furchtbar malerisch auch das Bild ist, welches sich den Sinnen darbietet, ist doch immer nur auf einen sehr kleinen Raum eingeschränkt. Ganz anders ist es mit den Erdstöfsen. Das grofse Erdbeben, welches am 1. November 1755 Lissabon zerstörte und dessen Wirkungen der grofse Weltweise Immanuel Kant[1]) so trefflich nachgespürt hat, wurde in den Alpen, an den schwedischen Küsten, auf den antillischen Inseln, an den grofsen Seen von Canada, in Thüringen und in dem nördlichen Flachlande von Deutschland empfunden. Ferne Quellen wurden in ihrem Laufe unterbrochen, eine Erscheinung bei Erdstöfsen, die man schon im Altertum bemerkt hat. So versiegten z. B. die Teplitzer Thermen und kamen, alles überschwemmend, mit vielem Eisenocker gefärbt, zurück. In Cadix erhob sich das Meer bis zu 60 Fufs Höhe, während in den kleinen Antillen die gewöhnlich nur 26 bis 28 Zoll hohe Flut urplötzlich 20 Fufs hoch stieg. Man hat berechnet, dafs am 1. November 1755 ein Erdraum erbebte, welcher an Gröfse viermal die Oberfläche von Europa übertraf. Wenn man Nachrichten von dem täglichen Zustande der gesamten Erdoberfläche haben könnte, so würde man sich sehr wahrscheinlich davon überzeugen, dafs fast immer an irgend einem Punkte diese Oberfläche erbebt, dafs sie ununterbrochen der Reaktion des Inneren gegen das Äufsere unterworfen ist.

Ehe wir diese grofse Erscheinung verlassen, müssen wir noch die Ursache des unaussprechlich tiefen und ganz eigentümlichen Eindrucks berühren, welchen das erste Erdbeben, das wir empfinden, in uns zurückläfst. Was uns so wundersam ergreift, ist die Enttäuschung von dem angeborenen Glauben an die Ruhe und Unbeweglichkeit des Starren. Von früher Kindheit sind wir an den Kontrast zwischen dem beweglichen Element des Wassers und der Unbeweglichkeit des Bodens, auf dem wir stehen, gewöhnt. Alle Zeugnisse unserer Sinne haben diesen Glauben befestigt. Wenn

---

1) **Kant**, Geschichte und Naturbeschreibung des Erdbebens vom Jahre 1755.

nun urplötzlich der Boden erbebt, so tritt geheimnisvoll eine unbekannte Naturmacht als das Starre bewegend, als etwas Handelndes auf. Ein Augenblick vernichtet die Illusion des ganzen früheren Lebens. Wir fühlen uns in den Bereich zerstörender, unbekannter Kräfte versetzt. Jeder Schall, die leiseste Regung der Lüfte spannt unsere Aufmerksamkeit. Man traut gleichsam dem Boden nicht mehr, auf den man tritt. Das Ungewöhnliche der Erscheinung bringt dieselbe ängstliche Unruhe bei den Tieren hervor. Die Krokodile im Orinoko, sonst so stumm wie unsere kleinen Eidechsen, verlassen den erschütterten Boden des Flusses und laufen brüllend dem Walde zu.

Dem Menschen stellt sich das Erdbeben als etwas Allgegenwärtiges dar. Von einem thätigen Ausbruch-Krater, einem auf unsere Wohnung gerichteten Lavastrom kann man sich entfernen; bei dem Erdbeben glaubt man sich überall, wohin auch die Flucht gerichtet sei, über dem Herd des Verderbens. Ein solcher Zustand des Gemütes ist aber nicht von langer Dauer, folgt in einem Lande eine Reihe von schwachen Erdstöfsen aufeinander, so verschwindet bei den Bewohnern fast jegliche Spur der Furcht. An den regenlosen Küsten von Peru kennt man weder Hagel noch den rollenden Donner. Den letzteren ersetzt dort das unterirdische Getöse, welches die Erdstöfse begleitet. Vieljährige Gewohnheit und die sehr verbreitete Meinung, als seien gefahrbringende Erschütterungen nur zwei- oder dreimal in einem Jahrhundert zu befürchten, machen, dafs in Lima schwache Bewegungen des Bodens kaum mehr Aufmerksamkeit erregen als ein Hagelwetter in der gemäfsigten Zone.

Unser Planet hat zwei Umhüllungen, eine allgemeine, den Luftkreis, und eine nur örtlich verbreitete, die Erdfeste umgrenzende, das Meer. Beide Umhüllungen, Luft und Meer, bilden ein Naturganzes, welches der Erdoberfläche die Verschiedenheit der Klimate giebt, und zwar nach Mafsgabe der relativen Ausdehnung von Meer und Land, der Gliederung und Orientierung der Kontinente, der Richtung und Höhe der Gebirgsketten.

In dem jetzigen Zustande der Oberfläche unseres Planeten verhält sich die Oberfläche des Landes zu der des Meeres wie 100 : 270. Die Inseln bilden kaum $^1/_{23}$ der Kontinentalmassen. Letztere sind so ungleich verteilt, dafs sie auf der nördlichen Halbkugel dreimal so viel Land darbieten als auf der südlichen. Die südliche Hemisphäre ist also recht eigentlich vorherrschend oceanisch.

Das Luftmeer, auf dessen Boden wir leben, bietet Naturerscheinungen dar, welche den innigsten Zusammenhang miteinander zeigen und aus der chemischen Zusammensetzung, sowie aus den Änderungen des Druckes, der Temperatur, der Feuchtigkeit und der Elektricität entstehen. Enthält die Luft im Sauerstoff das erste Element des Lebens, so mufs in ihrem Dasein noch eine andere Wohlthat, man möchte sagen höherer Art, anerkannt werden. Die Luft ist nämlich die Trägerin des Schalles, also auch der Sprache, der Mitteilung der Ideen, der Geselligkeit unter den Völkern. Wäre der Erdball der Atmosphäre beraubt, wie unser Mond, so stellte er sich uns in der Phantasie als eine klanglose Einöde dar.

Seitdem ich in den „Ansichten der Natur" die Allbelebtheit der Erdoberfläche geschildert habe, ist unsere Kenntnis in dieser Richtung durch Ehrenbergs[1]) glänzende Entdeckungen „über das Verhalten des kleinsten Lebens in dem Weltmeere wie in dem Eise der Polarländer" auf eine überraschende Weise vermehrt worden. In der ewigen Nacht der oceanischen Tiefen herrscht das Tierleben, während auf den Kontinenten, des periodischen Reizes der Sonnenstrahlen bedürftig, das Pflanzenleben am meisten verbreitet ist. Der Masse nach überwiegt im allgemeinen der pflanzliche Organismus bei weitem den tierischen auf der Erde. Was ist die Zahl grofser Waltiere und Dickhäuter gegen das Volumen dichtgedrängter, riesenmäfsiger Baumstämme von acht bis zwölf Fufs Durchmesser in dem einzigen Waldraum, welcher die Tropenzone von Südamerika zwischen dem Orinoko, dem Amazonenflufs und dem Rio da Madeira erfüllt! Wenn auch der Charakter der verschiedenen Erdräume von allen äufseren Erscheinungen zugleich abhängt, so ist doch nicht zu leugnen, dafs das Hauptbestimmende dieses Eindrucks die Pflanzendecke ist.

---

[1]) Chr. G. Ehrenberg, geboren am 19. April 1795, gestorben in Berlin am 27. Juni 1876, hervorragender Mikroskopiker, verdient um die Erforschung der Infusorien und der gesteinbildenden mikroskopischen Organismen.



67. Kirchhoff und Bunsen schaffen die Spektralanalyse. 1860.

a) G. Kirchhoff und R. Bunsen, Chemische Analyse durch Spektralbeobachtungen [1]).

Gustav Robert Kirchhoff, geboren am 12. März 1824 in Königsberg, wurde 1854 Professor der Physik in Heidelberg, wo er in Gemeinschaft mit Robert Wilhelm Bunsen, geboren am 31. März 1811 in Göttingen, die Spektralanalyse erfand. Kirchhoff wurde 1873 nach Berlin berufen und starb im Jahre 1887, Bunsen verliefs dagegen seinen Heidelberger Lehrstuhl erst 1892, als er sich durch die Last der Jahre bewogen fühlte, öffentlicher Thätigkeit zu entsagen; er starb am 16. August 1899.

Es ist bekannt, dafs manche Substanzen die Eigenschaft haben, wenn sie in eine Flamme gebracht werden, in dem Spektrum derselben gewisse helle Linien hervortreten zu lassen. Man kann auf diese Linien eine Methode der qualitativen Analyse gründen, welche das Gebiet der chemischen Reaktionen erheblich erweitert und zur Lösung bisher unzugänglicher Probleme führt. Wir beschränken uns hier zunächst nur darauf, diese Methode für die Metalle der Alkalien [2]) und alkalischen Erden [3]) zu entwickeln und ihren Wert an einer Reihe von Beispielen zu erläutern.

Die erwähnten Linien zeigen sich umso deutlicher, je höher die Temperatur und je geringer die eigene Leuchtkraft der Flamme ist. Die von einem von uns angegebene Gaslampe [4]) liefert eine Flamme von sehr hoher Temperatur und sehr geringer Leuchtkraft; dieselbe ist daher vorzugsweise geeignet zu Versuchen über die jenen Substanzen eigentümlichen hellen Linien.

Auf nebenstehender Tafel sind die Spektren dargestellt, welche die genannte Flamme giebt, wenn die so rein als möglich dargestellten Chlorverbindungen von Kalium, Natrium, Lithium, Strontium, Calcium, Barium in ihr verflüchtigt werden. Das Sonnenspektrum ist, um die Orientierung zu erleichtern, beigefügt.

---

1) Ostwalds Klassiker der exakten Wissenschaften Nr. 72. Herausgegeben von W. Ostwald. Leipzig, Verlag von Wilhelm Engelmann 1895.

2) Kalium, Natrium und Lithium.

3) Strontium, Calcium und Barium.

4) Der von Bunsen erfundene und nach ihm benannte Brenner.

In Fig. 54 ist der Apparat abgebildet, dessen wir uns meistens zur Beobachtung der Spektren bedient haben. A ist ein innen geschwärzter Kasten, dessen Boden die Gestalt eines Trapezes hat und der auf drei Füſsen ruht; die beiden schiefen Seitenwände desselben tragen die beiden kleinen Fernrohre B und C. Die

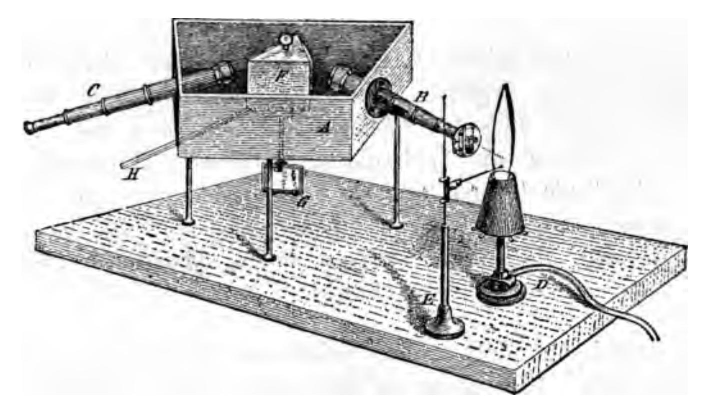


Fig. 54. Das erste von Kirchhoff und Bunsen konstruierte Spektroskop[1]).

Okularlinsen des ersteren sind entfernt und durch eine Platte ersetzt, in der ein aus zwei Messingschneiden gebildeter Spalt sich befindet, welcher in den Brennpunkt der Objektivlinse eingestellt ist. Vor dem Spalt steht die Lampe D so, daſs der Saum ihrer Flamme von der Achse des Rohres B getroffen wird. Etwas unterhalb der Stelle, wo die Achse den Saum trifft, läuft in denselben das zu einem kleinen Öhr gebogene Ende eines sehr feinen Platindrahtes, der von dem Träger E gehalten wird; diesem Öhr ist eine Perle der zu untersuchenden, vorher entwässerten Chlorverbindung angeschmolzen. Zwischen den Objektiven der Fernröhre B und C steht ein Hohlprisma F von 60° brechendem Winkel, das mit Schwefelkohlenstoff gefüllt ist. Das Prisma ruht auf einer Messingplatte, die um eine vertikale Achse drehbar ist. Diese Achse trägt an ihrem unteren Ende den Spiegel G und darüber den Arm H, der als Handhabe dient, um das Prisma und den Spiegel zu drehen. Gegen den Spiegel ist ein kleines Fernrohr gerichtet, welches dem hindurchblickenden Auge das Spiegelbild einer in geringer Entfernung aufgestellten horizontalen Skala zeigt. Durch Drehung des Prismas kann man das ganze Spektrum der Flamme bei dem

[1]) G. Kirchhoff und R. Bunsen, Chemische Analyse durch Spektralbeobachtungen. I. Abhandlung, Fig. 1 (Ostwalds Klassiker Nr. 72, Seite 5).

Vertikalfaden des Fernrohrs C vorbeiführen und jede Stelle des Spektrums mit diesem Faden zur Deckung bringen. Einer jeden Stelle des Spektrums entspricht eine an der Skala zu machende Ablesung [1]).

Die auf der Tafel dargestellten, mit Hülfe der oben erwähnten reinen Chlorverbindungen erzeugten Spektren haben wir mit denjenigen verglichen, welche man erhält, wenn man die Bromide, Jodide, Oxydhydrate, die schwefelsauren und die kohlensauren Salze der entsprechenden Metalle in folgende Flammen bringt:

in die Flamme des Schwefels,
„ „ „ „ Schwefelkohlenstoffs,
„ „ „ „ wasserhaltigen Alkohols,
„ „ nicht leuchtende Flamme des Leuchtgases,
„ „ Flamme des Kohlenoxydgases,
„ „ „ „ Wasserstoffs und
„ „ Knallgasflamme.

Bei dieser umfassenden zeitraubenden Untersuchung, deren Einzelheiten wir übergehen zu dürfen glauben, hat sich herausgestellt, dafs die Verschiedenheit der Verbindungen, in denen die Metalle angewandt wurden, die Mannigfaltigkeit der chemischen Vorgänge in den einzelnen Flammen und der ungeheure Temperaturunterschied dieser letzteren keinen Einflufs auf die Lage der den einzelnen Metallen entsprechenden Spektrallinien ausübt.

Natrium.

Von allen Spektralreaktionen ist die des Natriums am empfindlichsten. Die gelbe Linie Na α, (siehe die Tafel!) die einzige, welche das Natriumspektrum aufzuweisen hat, fällt mit der Fraunhoferschen Linie D zusammen und zeichnet sich durch ihre besonders scharfe Begrenzung und ihre aufserordentliche Helligkeit aus. An der Sauerstoff-, Chlor-, Jod- und Bromverbindung, an dem schwefelsauren und kohlensauren Salze zeigt sich die Reaktion am deutlichsten. Allein selbst bei den kieselsauren, borsauren, phosphorsauren und anderen feuerbeständigen Salzen fehlt sie nicht.

Folgender Versuch zeigt, dafs die Chemie keine einzige Reaktion aufzuweisen hat, welche sich auch nur im Entferntesten mit

---

1) Bei der heutigen Einrichtung des Spektralapparates wird die Skala nicht von einem besonderen Spiegel, sondern von derjenigen Prismenfläche reflektiert, aus welcher der zu untersuchende Lichtstrahl austritt. Letzterer sowie das Bild der Skala werden gleichzeitig durch das Rohr B wahrgenommen.

dieser spektralanalytischen Bestimmung des Natriums an Empfindlichkeit vergleichen liefse. Wir verpufften in einer vom Standorte unseres Apparates möglichst entlegenen Ecke des Beobachtungszimmers, welches ungefähr 60 Kubikmeter Luft fafst, drei Milligramm chlorsaures Natrium mit Milchzucker[1]), während die nicht leuchtende Lampe vor dem Spalt beobachtet wurde. Schon nach wenigen Minuten gab die allmählich sich fahlgelblich färbende Flamme eine starke Natriumlinie, welche erst nach 10 Minuten wieder völlig verschwunden war. Aus dem Gewichte des verpufften Natriumsalzes und der im Zimmer enthaltenen Luft läfst sich leicht berechnen, dafs in einem Gewichtsteile der letzteren nicht einmal $^1/_{20,000000}$ Gewichtsteil Natriumoxyd enthalten sein konnte. Da sich die Reaktion in der Zeit einer Sekunde mit aller Bequemlichkeit beobachten läfst, in dieser Zeit aber nach dem Zuflufs und der Zusammensetzung der Flammengase zu urteilen, nur ungefähr 50 ccm oder 0,0647 g Luft, welche weniger als $^1/_{20,000000}$ des Natriumsalzes enthalten, in der Flamme zum Glühen gelangen, so ergiebt sich, dafs das Auge noch weniger als $^1/_{3,000000}$ Milligramm des Natriumsalzes mit der gröfsten Deutlichkeit zu erkennen vermag. Bei einer solchen Empfindlichkeit der Reaktion wird es begreiflich, dafs nur selten in glühender, atmosphärischer Luft die Natriumreaktion fehlt. Die Erde ist auf mehr als zwei Drittel ihrer Oberfläche mit einer Kochsalzlösung bedeckt, welche von den sich überstürzenden Meereswogen unaufhörlich in Wasserstaub verwandelt wird. Die Meerwassertröpfchen, welche auf diese Art in die Atmosphäre gelangen, verdunsten und hinterlassen kochsalzhaltige Sonnenstäubchen, die zwar einen der Gröfse nach wechselnden, aber wie es scheint, nur selten fehlenden Gemengteil der Atmosphäre ausmachen.

In der unerhörten Empfindlichkeit dieser Natriumreaktion ist zugleich der Grund zu suchen, dafs alle der Luft ausgesetzten Gegenstände nach einiger Zeit beim Erhitzen in der Flamme die Natriumlinie zeigen, und dafs es nur bei wenigen Verbindungen gelingt, die letzte Spur der Natriumlinie zu beseitigen, selbst wenn man sie zehn- und mehrmal aus Wasser, das nur mit Platingefäfsen in Berührung kam, umkrystallisiert. Ein haarförmiger Platindraht, den man durch Ausglühen von jeder Spur einer Natriumverbindung befreite, zeigt die Reaktion auf das Deutlichste wieder, wenn man

[1]) Die chlorsauren Salze bilden bekanntlich mit oxydierbaren Substanzen explosive Gemenge.

ihn einige Stunden der Luft ausgesetzt hat. Nicht minder zeigt sie der Staub, welcher sich in den Zimmern aus der Luft absetzt, so dafs z. B. das Abklopfen eines bestäubten Buches schon genügt, um in einer Entfernung von mehreren Schritten das heftigste Aufblitzen der Natriumlinie zu bewirken.

Lithium.

Der glühend leuchtende Dampf der Lithiumverbindungen giebt zwei scharf begrenzte Linien, eine gelbe sehr schwache Li β und eine rote, glänzende Li α. An Sicherheit und Empfindlichkeit übertrifft auch diese Reaktion alle in der analytischen Chemie bisher bekannten. Der Natriumreaktion steht sie indessen an Empfindlichkeit etwas nach, vielleicht aber nur, weil das Auge für gelbe Strahlen empfindlicher ist als für rote.

Es läfst sich leicht die unerwartete Thatsache aufser Zweifel setzen, dafs das Lithium zu den am allgemeinsten in der Natur verbreiteten Stoffen gehört. Lithium liefs sich mit der gröfsten Leichtigkeit schon in 40 Kubikcentimetern Meerwasser nachweisen. Asche von Tangen, welche vom Golfstrom an die Schottische Küste getrieben wurde, enthielt erhebliche Spuren davon. Sämtliche Orthoklase und Quarze aus dem Granit des Odenwaldes, die wir geprüft haben, zeigten sich lithiumhaltig. Ein sehr reines Trinkwasser aus einer Quelle am granitischen westlichen Abhange des Neckarthales bei Heidelberg enthielt Lithium, während die im bunten Sandstein entspringende Quelle, welche die Wasserleitung des hiesigen chemischen Laboratoriums speist, frei davon war. Mineralwässer, in welchen Lithium kaum noch in einem Liter nach dem gewöhnlichen analytischen Verfahren nachgewiesen werden kann, zeigen die Liα-Linie oft schon, wenn man nur einen Tropfen davon an einem Platindraht in die Flamme bringt. Alle von uns untersuchten Odenwälder Aschen aus Hölzern, welche auf Granitboden wuchsen, sowie Russische und andere Pottaschen enthalten Lithium. Selbst in den Aschen des Tabaks, der Weinblätter, des Rebholzes und der Weinbeeren, sowie in der Asche der Feldfrüchte, welche in der Rheinebene auf nicht granitischem Boden gezogen werden, fehlt das Lithium eben so wenig wie in der Milch der Tiere, welche mit jenen Feldfrüchten genährt werden.

Es braucht kaum bemerkt zu werden, dafs ein Gemenge von flüchtigen Natrium- und Lithiumsalzen neben der Reaktion des Natriums die des Lithiums mit einer kaum merklich verminderten Schärfe und Deutlichkeit zeigt. Die rote Linie des letzteren wird

durch eine kleine in die Flamme gebrachte Perle noch deutlich sichtbar, wenn diese Perle nur $^{1}/_{1000}$ Lithiumsalz enthält, wobei das Auge für sich an der Flamme selbst nichts als das gelbe Licht des Natriums ohne jede Andeutung einer rötlichen Färbung wahrnimmmt[1]).

Unter den Niederschlägen, die zur Erkennung von Stoffen bestimmt sind, erscheinen die meisten weifs und nur einige gefärbt. Dabei ist die Färbung der letzteren nur wenig beständig und zeigt die verschiedensten Abstufungen je nach der dichteren oder mehr zerteilten Form der Fällung. Oft reicht schon die kleinste Beimengung eines fremden Stoffes hin, eine charakteristische Färbung bis zur Unkenntlichkeit zu verwischen. Bei der Spektralanalyse dagegen erscheinen die farbigen Streifen unberührt von solchen fremden Einflüssen und unverändert durch die Dazwischenkunft anderer Stoffe. Die Stellen, welche sie im Spektrum einnehmen, machen eine Eigenschaft aus, die so unwandelbarer und fundamentaler Natur ist, wie das Atomgewicht der Stoffe, und lassen sich daher mit einer fast astronomischen Genauigkeit bestimmen. Was aber der spektralanalytischen Methode eine ganz besondere Bedeutung verleiht, ist der Umstand, dafs sie die Schranken, bis zu welchen bisher die chemische Analyse reichte, fast ins Unbegrenzte hinausrückt. Sie verspricht uns z. B. über die Verbreitung und die Anordnung der Stoffe in den geologischen Formationen die wertvollsten Aufschlüsse.

Für die Entdeckung bisher noch nicht aufgefundener Elemente dürfte die Spektralanalyse eine nicht minder wichtige Bedeutung gewinnen. Wenn es Stoffe wie das Lithium giebt, die so sparsam in der Natur verbreitet sind, dafs uns die bisherigen Mittel der Analyse bei ihrer Erkennung und Abscheidung im Stiche lassen, so wird man hoffen dürfen, viele solcher Stoffe durch die einfache Betrachtung ihrer Flammenspektren noch in Mengen zu erkennen und zu bestimmen, die sich auf gewöhnlichem Wege jeder chemischen Wahrnehmung entziehen. Dafs es wirklich solche bisher unbekannte Elemente giebt, davon haben wir uns bereits zu überzeugen die Gelegenheit gehabt. Wir glauben, auf unzweifelhafte Ergebnisse der spektralanalytischen Methode gestützt, mit völliger Sicherheit schon jetzt die Behauptung aufstellen zu können, dafs es neben dem Kalium, Natrium und Lithium noch ein viertes

---

1) Es folgt die Beschreibung der Spektren von Kalium, Strontium, Calcium und Barium.

der Alkaliengruppe angehöriges Metall giebt, welches ein ebenso charakteristisches und einfaches Spektrum liefert wie das Lithium [1]).

Bietet einerseits die Spektralanalyse, wie wir im vorstehenden gezeigt zu haben glauben, ein Mittel von bewunderungswürdiger Einfachheit, die kleinsten Spuren gewisser Elemente in irdischen Körpern zu entdecken, so eröffnet sie andererseits der chemischen Forschung ein bisher völlig verschlossenes Gebiet, das weit über die Grenzen der Erde, ja selbst unseres Sonnensystems, hinausreicht. Da es bei der in Rede stehenden analytischen Methode ausreicht, das glühende Gas, um dessen Analyse es sich handelt, zu sehen, so liegt der Gedanke nahe, dafs diese Methode auch auf die Atmosphäre der Sonne und die helleren Fixsterne anwendbar sei [2]).

---

67. Kirchhoff und Bunsen schaffen die Spektralanalyse. 1860.

b) G. Kirchhoff, Untersuchungen über das Sonnenspektrum und die Spektren der chemischen Elemente [3]).

Entwirft man durch ein Prisma ein Sonnenspektrum, das so rein wie möglich ist, und betrachtet dasselbe durch ein Fernrohr von geringer Vergröfserung, so erblickt man zwischen den Linien, die Fraunhofer [4]) durch Buchstaben bezeichnet hat, ein Gewirr

---

1) Gemeint ist Caesium, das gleich dem Rubidium von Kirchhoff und Bunsen auf spektralanalytischem Wege in der Dürkheimer Soole aufgefunden wurde. Beide Elemente gehören zu den Alkalimetallen. Die auf ihre Entdeckung bezügliche Abhandlung wurde 1861 in Poggendorffs Annalen Bd. 113, S. 337 veröffentlicht und in Ostwalds Klassikern Nr. 72 abgedruckt. Die Dürkheimer Soole enthält die genannten Metalle in solch geringer Menge, dafs „44000 kg Soole verarbeitet werden mufsten, um die nur wenige Gramm betragende Menge des für die Untersuchung erforderlichen Materials zu erhalten."

2) Mit dieser Anwendung der Spektralanalyse auf das Gebiet der Astrophysik befafst sich die nachstehend im Auszuge wieder gegebene Abhandlung Kirchhoffs.

3) Besonderer Abdruck aus den Abhandlungen der Königlichen Akademie der Wissenschaften zu Berlin 1861. Zweite durch einen Anhang vermehrte Ausgabe. Berlin 1862.

4) Hervorragender Optiker, lebte 1787—1826 und entdeckte die dunklen Linien im Sonnenspektrum, die nach ihm die Fraunhofer'schen Linien genannt wurden.

von feinen Linien und nebeligen Streifen, das dem Auge nur wenig Anhalt bietet. Wendet man mehr Prismen und eine stärkere Vergröſserung an, so treten, wenn die Apparate die nötige Vollkommenheit besitzen, mehr und mehr Liniengruppen hervor, die so charakteristisch sind, daſs sie leicht aufgefaſst und leicht wieder erkannt werden. Von diesen Liniengruppen sind in der Fraunhofer'schen Zeichnung des Sonnenspektrums [1]) [Denkschriften der Münchener Akademie für 1814 und 1815] nur sehr wenige kenntlich; ich habe dieselben für den hellsten Teil des Sonnenspektrums so vollständig und treu wie möglich abzubilden gesucht [2]).

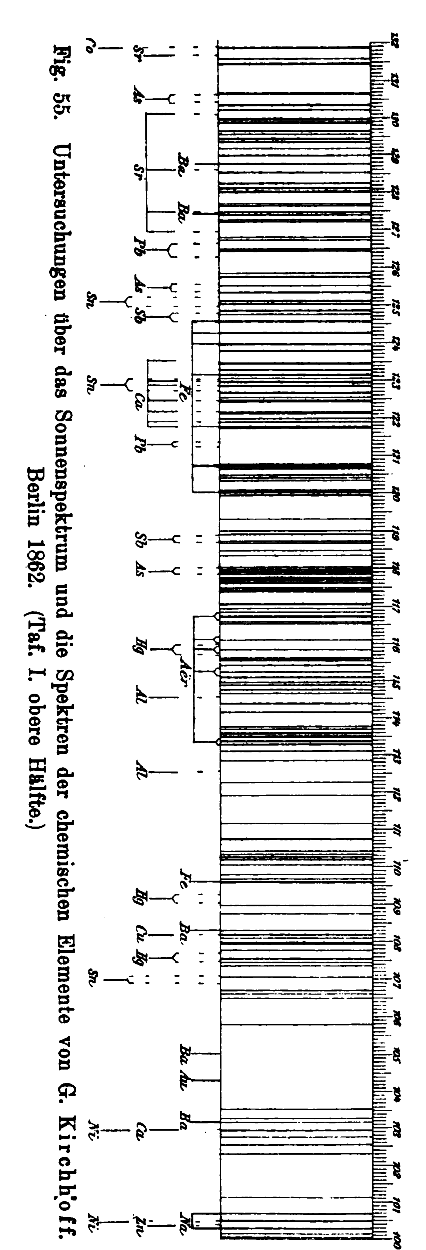


Fig. 55. Untersuchungen über das Sonnenspektrum und die Spektren der chemischen Elemente von G. Kirchhoff. Berlin 1862. (Taf. I. obere Hälfte.)

Über die Zeichnung des Spektrums habe ich eine in Millimeter geteilte Skala mit einem willkürlich gewählten Anfangs-

---

1) Fraunhofer bestimmte die Lage von mehr als 500 solcher Linien und benannte die hauptsächlichsten mit Buchstaben. A und B befinden sich im Rot, D an der Grenze von Orange und Gelb, E im grünen Teil des Spektrums.

2) Der von Kirchhoff benutzte Spektralapparat, bei welchem vier Prismen zur Anwendung kamen, findet sich in manchen Lehrbüchern der Physik abgebildet, so in dem bekannten Lehrbuch von P. Reis, 7. Auflage, Figur 217. Nachstehende Reproduktion von Kirchhoffs Zeichnung des Sonnenspektrums umfaſst nur einen kleinen zwischen den Fraunhoferschen Linien D und E gelegenen Teil desselben. Die Linie F liegt zwischen 152 und 153 der nach links fortgesetzt zu denkenden Skala.

punkt gesetzt. Diese dient dazu eine jede der Linien mit Leichtigkeit zu bestimmen. So bezeichne ich z. B. die beiden Linien, welche Fraunhofer D genannt hat, durch 100,28 und 100,68.

Brewster[1]) hat die wichtige Entdeckung gemacht, dafs im Sonnenspektrum neue dunkle Linien auftreten, wenn die Sonne sich dem Horizonte nähert, Linien, die unzweifelhaft ihren Ursprung in unserer Atmosphäre haben. Bei meinem Apparat habe ich oft Gruppen solcher Linien, namentlich in der Nähe der Linie D, in ausgezeichneter Schönheit sich entwickeln sehen; ich habe diese Linien aber nicht in meine Zeichnung aufgenommen, welche das Sonnenspektrum, wie es bei hohem Stande der Sonne sich zeigt, darstellen soll.

Auch bei hohem Sonnenstande habe ich in den verschiedensten Teilen des Spektrums Andeutungen von Linien und nebelige Streifen wahrgenommen, die ich nicht wiederzugeben gesucht habe. Ich zweifle nicht, dafs es gelingen wird, durch Anwendung von noch mehr Prismen viele von diesen zu deutlichen Liniengruppen aufzulösen. Aus der Leistung meines Apparates kann man schliefsen, dafs die optische Kunst soweit vorgeschritten ist, dafs man die doppelte oder dreifache Zahl der von mir benutzten Prismen anwenden dürfte, ohne der Schärfe der Linien Eintrag zu thun. Die Auflösung jener nebeligen Streifen scheint mir von einem ähnlichen Interesse zu sein, wie die Auflösung der Nebelflecke am Fixsternhimmel, und die genauere Erforschung des Sonnenspektrums von keiner geringeren Wichtigkeit als die des Fixsternhimmels selbst.

Die Spektren der chemischen Elemente.

Die Farbe, welche die Salze gewisser Metalle der Lötrohrflamme erteilen, ist seit langer Zeit von den Chemikern als Kennzeichen für die Gegenwart dieser Metalle benutzt worden, so das Gelb, welches Natriumsalze, das Violett, welches Kaliumsalze, das Grün, welches Bariumsalze hervorrufen. Dieses Erkennungsmittel versagt aber meist den Dienst, wenn mehrere dieser Metalle vorhanden sind, weil dann die durch sie erzeugten Farben sich

[1]) David Brewster wurde 1781 in Schottland geboren und starb 1868. Er hat sich um die Optik grofse Verdienste erworben. In weiteren Kreisen ist Brewster als der Erfinder des Kaleidoskops und des Stereoskops, sowie als Biograph Newtons bekannt geworden.

gegenseitig verdecken. In vielen Fällen kann man diesem Übelstande mittels farbiger Gläser oder Flüssigkeiten abhelfen, durch die man die Flamme betrachtet[1]). Es lag nahe, anstatt der farbigen Gläser und Flüssigkeiten ein Prisma anzuwenden und durch dieses die gemischten Farben der Flamme zu zerlegen, um so mehr, als vielfach schon das Prisma zur Untersuchung von Flammenspektren benutzt war. Fraunhofer hatte in dem Spektrum der Kerzenflamme gewisse helle Linien gefunden. Später wurden diese Versuche in der Weise angestellt, dafs man das zu untersuchende Salz in Alkohol löste und die Flamme des Alkohols durch das Prisma betrachtete. Bunsen und ich ersetzten bei einer gemeinsamen Arbeit[2]) die Alkoholflamme durch die Bunsen'sche Gasflamme, die weniger leuchtet und eine höhere Temperatur besitzt. In den Saum dieser Flamme brachten wir mit Hülfe eines feinen Platindrahtes verschiedene Salze und betrachteten das Spektrum der über der Salzperle sich erhebenden leuchtenden Dämpfe. Die Erscheinungen, die sich uns darboten, gehören zu den glänzendsten optischen Phänomenen, welche man hervorrufen kann. Wir sahen nur das dem angewandten Salze entsprechende Spektrum, aber dieses in gröfstem Glanze, während bei den früheren Versuchen das Eigentümliche desselben durch das Licht des verbrennenden Alkohols zum grofsen Teile verdeckt wurde.

Mit Sicherheit und Leichtigkeit konnten wir uns davon überzeugen, dafs die verschiedensten Salze desselben Metalls, wenn sie flüchtig sind, dieselben hellen Linien im Spektrum erzeugen, und dafs ein Gemisch von Salzen verschiedener Metalle ein Spektrum giebt, wie es durch die Übereinanderlagerung der den einzelnen Metallen entsprechenden Spektren entstehen würde. Wir konnten so auf diese hellen Spektrallinien eine Methode der qualitativen chemischen Analyse gründen, deren Fruchtbarkeit schon eine Reihe von Erfolgen bewiesen hat, welche durch sie gewonnen sind.

Zur genaueren Bestimmung der Spektrallinien der einzelnen Elemente bieten die dunklen Linien des Sonnenspektrums ein unschätzbares Hülfsmittel dar. Um dieses benutzen zu können, habe ich vor der oberen Hälfte des Spaltes meines Spektralapparats zwei kleine rechtwinklige Glasprismen so angebracht, dafs, während

---

1) So erkennt man die Anwesenheit von Kalium neben Natrium, indem man die Flamme durch ein Kobaltglas oder eine Indigolösung betrachtet, welche das gelbe Licht der Natriumflamme auslöschen.

2) Poggendorffs Annalen Bd. 110. Siehe den vorhergehenden Abschnitt.

durch die untere Spalthälfte Sonnenstrahlen direkt eintreten, durch die obere die Strahlen einer seitlich aufgestellten künstlichen Lichtquelle nach zweimaliger totaler Reflexion zu den grofsen Prismen des Spektralapparats gelangen. Während so in der oberen Hälfte des Gesichtsfeldes des astronomischen Beobachtungsfernrohrs das Sonnenspektrum sich zeigte, kam in der unteren, in unmittelbarem Anschlufs an dieses das Spektrum der künstlichen Lichtquelle zum Vorschein [1]). So liefs sich die Lage der dunklen Linien des einen zu den hellen des anderen mit Sicherheit bestimmen.

Um die Metallspektra zu erzeugen, habe ich mich fast ausschliefslich des elektrischen Funkens bedient, und zwar wegen der grofsen Lichtstärke, welche derselbe gewährt. Das Spektrum des elektrischen Funkens ist zuerst von Fraunhofer untersucht worden, der mehrere helle Linien in demselben bemerkt hat. Darauf machte man die Entdeckung, dafs dieses Spektrum je nach der Natur der Elektroden verschieden ist. Man fand, dafs die hellen Linien, die es bilden, in zwei Klassen zerfallen, von denen die eine durch die Gasart bedingt wird, in welcher der Funke sich bildet, die andere durch die Metalle, zwischen denen er überspringt.

Bei meinen Versuchen habe ich die elektrischen Funken durch einen Induktionsapparat erzeugt, der durch eine hinreichend kräftige galvanische Kette angeregt Funken von 0,3 m Länge zu geben vermochte. Dabei wurden die Elektroden mit den Lösungen der zu untersuchenden Salze bedeckt. Diejenigen hellen Linien, welche von der atmosphärischen Luft herrührten, in welcher der Funken übersprang, waren bei kleiner Schlagweite und geringer Breite des Spaltes wenig in die Augen fallend. Vergleicht man die Spektren verschiedener Metalle mit einander, so fällt auf, dafs mehrfach Linien zusammenzufallen scheinen. Besonders deutlich sind dies eine Eisen- und eine Magnesiumlinie bei 165,56 und eine Eisen- und eine Calciumlinie bei 152,27. Es scheint mir die Frage von grofsem Interesse, ob die betreffenden Linien genau aufeinander fallen oder nur sehr nahe beieinander liegen. Ich schreibe meinen Beobachtungen nicht die erforderliche Genauigkeit zu, um diese Frage zu entscheiden, und glaube, dafs hierzu noch eine Vergröfserung der Zahl der Prismen und eine Vermehrung der Lichtstärke nötig wäre.

---

1) Das astronomische Fernrohr liefert umgekehrte Bilder, daher erscheint das Sonnenspektrum über demjenigen der Lichtquelle.

Die Lage der hellen Linien im Spektrum eines glühenden Dampfes ist von der Temperatur und von der Anwesenheit anderer Dämpfe unabhängig. Sie wird durch die chemische Beschaffenheit des Dampfes bedingt. Die Richtigkeit dieses Satzes hat sich deutlich bei den Versuchen, die von Bunsen und mir zu seiner Prüfung ausgeführt wurden, herausgestellt. Dabei kann aber das Aussehen des Spektrums desselben Dampfes unter verschiedenen Umständen ein sehr verschiedenes sein. Wenn die Dicke der Dampfschicht, deren Licht man untersucht, vermehrt wird, so wächst die Helligkeit aller Linien, aber in verschiedenen Verhältnissen. Einen ähnlichen Einfluſs wie die Masse des glühenden Dampfes scheint seine Temperatur auszuüben. Wenn diese gesteigert wird, so tritt keine Verschiebung der Lichtmaxima ein, aber ihre Stärke wächst in so verschiedenem Maſse, daſs andere Linien die auffallendsten sind bei höherer, andere bei niedrigerer Temperatur. Dieser Einfluſs der Masse und der Temperatur erklärt es vollständig, daſs bei vielen Metallspektren die am meisten charakteristischen Linien andere sind, wenn das Metall in der Gasflamme, andere, wenn es im elektrischen Funken untersucht wird. Die hellen Linien im Spektrum eines glühenden Gases können mit den Tönen eines tönenden Körpers verglichen werden. Welches auch die Ursache sein mag, die diesen in Schwingungen versetzt, die Höhe des Tones ist immer dieselbe.

Die Umkehrung der Flammenspektren.

Foucault[1]) stellte Versuche über die Spektren des elektrischen Bogens an, welcher zwischen Spitzen von Kohle und verschiedenartigen Metallen entstand. Dabei machte er die Beobachtung, daſs die hellen Natriumlinien in dunkle verwandelt wurden, wenn er das Licht, welches von einer der Kohlenspitzen ausgegangen und durch den Bogen getreten war, zum Spektrum auseinanderlegte. Leitete er Sonnenlicht durch den Bogen, so zeigten sich die dunklen Linien D in ungewöhnlicher Stärke.

Diese Beobachtungen hat weder Foucault noch ein anderer Physiker zu erklären oder zu erweitern gesucht. Sie waren mir ferner unbekannt, als Bunsen und ich unsere Untersuchungen über die Spektren farbiger Flammen begannen. Um das Zusammen-

[1]) Hervorragender französischer Physiker, geboren 1819 in Paris, starb im Jahre 1868. Bekannt ist Foucaults Pendelversuch, durch welchen er den direkten Beweis für die Umdrehung der Erde um ihre Axe lieferte.

fallen der Natriumlinien mit den Linien D zu prüfen, entwarf ich ein mäfsig helles Sonnenspektrum und brachte dann vor den Spalt des Apparates eine Natriumflamme. Dabei sah ich die dunklen Linien D sich in helle verwandeln. Um zu finden, wie weit die Lichtstärke des Sonnenspektrums sich steigern liefse, ohne dafs die Natriumlinien dem Auge verschwänden, liefs ich den vollen Sonnenschein durch die Natriumflamme auf den Spalt fallen und sah da zu meiner Verwunderung die dunklen Linien D in aufserordentlicher Stärke hervortreten. Ich ersetzte das Licht der Sonne durch das Drummondsche Kalklicht[1]), dessen Spektrum wie das Spektrum eines jeden glühenden festen oder flüssigen Körpers keine dunklen Linien hat. Wurde dieses Licht durch eine geeignete Kochsalzflamme geleitet, so zeigten sich in dem Spektrum dunkle Linien an Stelle der Natriumlinien. Dasselbe trat ein, wenn ein Platindraht benutzt wurde, der durch einen elektrischen Strom seinem Schmelzpunkt nahe gebracht war.

Diese Erscheinungen finden eine leichte Erklärung in der Annahme, dafs eine Natriumflamme solche Strahlen absorbiert, die sie selbst aussendet, für alle andern aber durchsichtig ist. Dafs diese Annahme jene Erscheinungen erklärt, zeigt folgende Überlegung. Wenn man vor den glühenden Platindraht, dessen Spektrum betrachtet wird, eine Natriumflamme bringt, so ändert sich nach der bezeichneten Annahme die Helligkeit in der Nähe der Natriumlinien nicht; in diesen selbst ändert sie sich aus doppeltem Grunde: die Stärke des Lichtes, das von dem Platindraht ausgegangen ist, wird hier durch die Absorption der Flamme auf einen gewissen Bruchteil des ursprünglichen Wertes herabgesetzt, und das Licht der Natriumflamme selbst wird hinzugebracht. Es ist klar, dafs wenn der Platindraht nur stark genug leuchtet, der durch die Absorption bewirkte Verlust an Licht den durch die Leuchtkraft der Flamme hervorgebrachten Gewinn überwiegen mufs; die Natriumlinien müssen dann dunkler als ihre Umgebung erscheinen und können, wenn die Absorption stark genug ist, durch den Kontrast mit der Umgebung ganz schwarz aussehen obgleich ihre Lichtstärke notwendig noch gröfser ist als diejenige, welche die Natriumflamme für sich allein hervorbringt.

Ebenso leicht, wie die hellen Natriumlinien umgekehrt, d. h. in dunkle verwandelt werden können, ebenso leicht kann die rote

---

1) Dasselbe wird durch Glühen von Kalk in einer mit Sauerstoff gespeisten Wasserstoffflamme hervorgerufen und ist sehr intensiv.

Lithiumlinie umgekehrt werden. Läſst man durch eine Lithiumflamme Sonnenstrahlen treten, so zeigt sich im Spektrum an der Stelle der Lithiumlinie eine schwarze Linie, die an Deutlichkeit mit den ausgezeichnetsten Fraunhofer'schen Linien wetteifert. Dieselbe verschwindet, wenn die Flamme entfernt wird. Weniger leicht ist die Umkehrung der hellen Linien anderer Metalle, doch ist sie Bunsen und mir geglückt bei den hellsten Linien von Kalium, Strontium, Calcium und Barium, indem wir Gemenge der chlorsauren Salze dieser Elemente mit Milchzucker vor dem Spalt des Spektralapparats verpufften, während die Sonnenstrahlen auf diesen fielen.

Die chemische Beschaffenheit der Sonnenatmosphäre.

Fraunhofer hat beobachtet, daſs die beiden dunklen Linien des Sonnenspektrums, welche er mit D bezeichnet hat, mit den beiden hellen Linien zusammenfallen, welche jetzt als die Linien des Natriums erkannt sind. Ein Blick auf die von mir entworfenen Tafeln zeigt eine groſse Zahl von ähnlichen Koincidenzen. Besonders auffallend ist es, daſs an den Örtern aller von mir beobachteten Eisenlinien ausgezeichnete dunkle Linien im Sonnenspektrum sich befinden[1]). Bei der Feinheit der von mir in Anwendung gebrachten Beobachtungsmittel glaube ich, daſs jede der von mir gefundenen Koincidenzen zwischen Eisenlinien und Linien des Sonnenspektrums als mit einer Sicherheit festgestellt betrachtet werden kann, die derjenigen mindestens gleich ist, mit der bisher die Koincidenz der Natriumlinien mit den Linien D bewiesen war. Die beobachtete Thatsache erklärt sich durch die Annahme, daſs die Lichtstrahlen, welche das Sonnenspektrum geben, durch Eisendämpfe gegangen sind und hier die Absorption erlitten haben, welche Eisendämpfe ausüben müssen. Der Annahme solcher Dämpfe in der Atmosphäre der Sonne steht aber bei der Temperatur, die wir dieser zuschreiben müssen, nichts entgegen. Die Beobachtungen des Sonnenspektrums scheinen mir die Gegenwart von Eisendämpfen in der Sonnenatmosphäre mit einer so groſsen Sicherheit zu beweisen, wie sie in den Naturwissenschaften überhaupt erreichbar ist.

Nachdem so die Gegenwart eines irdischen Stoffes in der Sonnenatmosphäre festgestellt und dadurch eine groſse Zahl

[1]) Die Lage der Metallinien findet sich in der Kirchoffschen Zeichnung unter dem Spektrum angegeben (siehe Fig. 55). Die Zahl der Eisenlinien (Fe) ist in diesem Teile des Spektrums nur gering.

Fraunhofer'scher Linien erklärt ist, liegt die Vermutung nahe, dafs auch andere irdische Stoffe sich dort befinden und durch die Absorption, welche sie ausüben, andere Fraunhofer'sche Linien hervorbringen. Es ist namentlich wahrscheinlich, dafs Stoffe, welche hier an der Erdoberfläche in grofsen Massen vorhanden sind und zugleich durch besonders helle Linien in ihren Spektren sich auszeichnen, auf ähnliche Weise wie das Eisen sich in der Sonnenatmosphäre bemerklich machen werden. Es ist das in der That der Fall bei Calcium, Magnesium und Natrium. Allerdings ist die Zahl der hellen Linien in dem Spektrum eines jeden dieser Metalle nur eine kleine, aber diese Linien sowie diejenigen des Sonnenspektrums, mit denen sie zusammenzufallen scheinen, sind von so ausgezeichneter Deutlichkeit, dafs diese Koïncidenzen sich mit ganz besonderer Schärfe beobachten lassen.

Es schien von Interesse zu prüfen, ob in der Sonnenatmosphäre auch Nickel und Kobalt vorhanden sind, diese steten Begleiter des Eisens in den Meteormassen. Die Spektren dieser beiden Metalle zeichnen sich, wie das des Eisens, durch die aufserordentlich grofse Zahl ihrer Linien aus. Aber die Linien des Nickels und mehr noch die des Kobalts sind sehr viel weniger hell als die des Eisens; ich konnte ihre Lage daher lange nicht mit der Genauigkeit beobachten, wie es bei den Eisenlinien möglich gewesen war. Die helleren Linien des Nickels scheinen alle mit Linien des Sonnenspektrums zusammenzufallen. Dasselbe findet statt bei einigen Linien des Kobalts, bei anderen von gleicher Helligkeit aber nicht. Ich glaube aus meinen Beobachtungen schliefsen zu dürfen, dafs Nickel in der Sonnenatmosphäre sichtbar ist; ob dasselbe von Kobalt gilt, darüber halte ich mein Urteil zurück[1]).

Barium, Kupfer und Zink scheinen in der Sonnenatmosphäre vorhanden zu sein, aber nur in geringer Menge. Die übrigen Metalle, welche ich untersucht habe, nämlich Gold, Silber, Quecksilber, Aluminium, Kadmium, Zinn, Blei, Antimon, Arsen, Strontium,

1) Spätere Untersuchungen haben das Vorhandensein von Kobalt in der Sonnenatmosphäre dargethan. Durch die Spektralanalyse ist die Anwesenheit von mehr als 30 Elementen in der Sonne mit Sicherheit nachgewiesen; darunter befinden sich Eisen, Nickel, Mangan, Chrom, Kobalt, Kohlenstoff (200 Linien), Calcium, Magnesium, Natrium, Silicium, Strontium, Barium, Aluminium, Zink, Kupfer, Silber, Zinn, Blei, Kalium. Im Sonnenspektrum nicht nachgewiesen sind: Antimon, Arsen, Wismut, Bor, Stickstoff, Gold, Quecksilber, Phosphor, Schwefel (nach H. A. Rowland, John Hopkins University Circulars, 1891, X). Doch ist damit nicht etwa schon der Nachweis geliefert, dafs die letztgenannten Elemente an der Zusammensetzung des Sonnenkörpers nicht beteiligt sind.

Lithium, sind nach meinen Beobachtungen in der Sonnenatmosphäre nicht sichtbar.

Um die dunklen Linien des Sonnenspektrums zu erklären, mufs man annehmen, dafs die Sonnenatmosphäre einen leuchtenden Körper umhüllt, der für sich allein ein Spektrum ohne dunkle Linien geben würde. Die wahrscheinlichste Annahme, die man machen kann, ist die, dafs die Sonne aus einem festen oder tropfbar flüssigen, in der höchsten Glühhitze befindlichen Kern besteht, der umgeben ist von einer Atmosphäre von etwas niedrigerer Temperatur.

Diese Vorstellung von der Beschaffenheit der Sonne stimmt mit der von Laplace begründeten Hypothese über die Bildung unseres Planetensystems überein[1]). Wenn die Masse, die jetzt in den einzelnen Körpern desselben verdichtet ist, in früheren Zeiten einen zusammenhängenden Nebel von ungeheurer Ausdehnung bildete, durch dessen Zusammenziehung Sonne, Planeten und Monde entstanden sind, so mufsten alle diese Körper bei ihrer Bildung im wesentlichen von ähnlicher chemischer Zusammensetzung sein. Die Geologie hat gelehrt, dafs die Erde einst in glühend flüssigem Zustande sich befunden hat; man mufs annehmen, dafs auch die anderen Körper unseres Systems einmal in einem solchen gewesen sind. Die Abkühlung, die infolge der Ausstrahlung der Wärme bei allen eingetreten ist, hat aber bei ihnen sehr verschiedene Grade erlangt; und während der Mond kälter als die Erde geworden ist, ist die Temperatur des Sonnenkörpers noch nicht unter die Weifsglühhitze gesunken. Die irdische Atmosphäre, die jetzt nur wenige Elemente enthält, mufste, als die Erde noch glühte, eine viel mannigfaltigere Zusammensetzung haben; alle in der Glühhitze flüchtigen Stoffe mufsten in ihr vorkommen. Eine entsprechende Beschaffenheit mufs heute noch die Atmosphäre der Sonne besitzen[2]).

1) Siehe Abschnitt 28 ds. Bds.

2) Auch Rowland, dem die neueste Zeit die besten Spektralapparate (Rowland'sche Gitter) und sehr zuverlässige Untersuchungen verdankt, war der Meinung, dafs unsere Erde, auf die Temperatur der Sonne erhitzt, ein dem Sonnenspektrum sehr ähnliches Spektrum zeigen würde.

68. Pasteur weist nach, dafs auch die niedrigsten Organismen aus Keimen und nicht durch Urzeugung entstehen. 1860.

Pasteur, Die in der Atmosphäre enthaltenen organischen Körperchen[1]).

Pasteur (1822—1895), einer der hervorragendsten französischen Chemiker und Physiologen, hat sich besonders durch die Erforschung des Gärungsprozesses, sowie durch Arbeiten über die Schutzimpfung einen Namen gemacht. Hier folgt ein Auszug von Kapitel I und II der wichtigen Pasteur'schen Abhandlung, in welcher die Lehre von der Urzeugung ihre endgültige Widerlegung gefunden hat.

A. Historisches.

Im Altertum und bis zum Ende des Mittelalters glaubte jedermann an das Vorkommen von Urzeugung. Aristoteles sagt, dafs jeder trockne Körper, welcher feucht wird, und jeder feuchte Körper, welcher trocken wird, Tiere erzeugt.

Van Helmont[2]) beschreibt ein Mittel, um Mäuse hervorzubringen. Viele Schriftsteller gaben noch im 17. Jahrhundert Anweisungen über die Art und Weise, um Frösche aus dem Schlamme der Sümpfe oder Aale aus dem Wasser unserer Flüsse zu erzeugen. Solche Irrtümer konnte der kritische Geist, der sich Europas im 16. und 17. Jahrhundert bemächtigte, nicht lange ertragen.

Redi[3]) stellte fest, dafs die Würmer des in Fäulnis begriffenen Fleisches Larven aus Fliegeneiern sind. Seine Beweise

---

[1]) Annales de Chimie et de Physique. 3. Série. Bd. LXIV. 1862. Übersetzt von Dr. A. Wieler und als 39. Bd. von Ostwalds Klassikern der exakten Wissenschaften bei Wilhelm Engelmann in Leipzig 1892 erschienen.

[2]) Van Helmont, 1577 zu Brüssel geboren, machte sich um die Chemie durch die genauere Untersuchung und Unterscheidung der gasförmigen Körper verdient. Von ihm rührt auch die Bezeichnung „Gas" her. Van Helmont huldigte, wie die Mehrzahl seiner Zeitgenossen, noch manchen phantastischen Vorstellungen; so giebt er an, dafs in einem Gefäfse, welches Mehl und ein schmutziges Hemd enthalte, Mäuse entstünden. Van Helmont starb 1644.

[3]) Redi, 1626—1697, hervorragender italienischer Naturforscher und Mitglied der Accademia del Cimento (Akademie des Versuchs) in Florenz.

waren ebenso einfach wie entscheidend. Er zeigte nämlich, dafs es genügte, das in Fäulnis begriffene Fleisch mit einer feinen Gaze zu umgeben, um die Bildung dieser Larven vollständig zu verhindern.

Man überraschte später Fliegen bei ihrer Thätigkeit, wie sie ihre Eier in Früchten niederlegten, und man erkannte, wenn man einen Wurm in einem Apfel sah, dafs nicht die Fäulnis ihn erzeugt hatte, sondern dafs der Wurm im Gegenteil die Ursache des Verdorbenseins ist.

Aber in der zweiten Hälfte des 17. und in der ersten Hälfte des 18. Jahrhunderts häuften sich die mikroskopischen Beobachtungen. Die Lehre von der Urzeugung tauchte infolgedessen abermals auf. Man konnte sich nämlich den Ursprung der so mannigfaltigen Wesen, welche das Mikroskop in den Aufgüssen pflanzlicher und tierischer Stoffe erkennen liefs, nicht erklären, und sah an ihnen auch nichts, was einer geschlechtlichen Zeugung glich. Dadurch wurde man zu der Annahme geführt, dafs die belebte Materie nach ihrem Tode eine besondere Lebensfähigkeit bewahre, durch deren Einflufs die Teile sich von neuem unter bestimmten günstigen Bedingungen mit einer Mannigfaltigkeit im Bau und in der Organisation, welche von diesen Bedingungen selbst abhängen sollten, vereinigten.

Andere hingegen glaubten, indem sie die wunderbaren Ergebnisse, welche das Mikroskop sie entdecken liefs, durch die Einbildungskraft vergröfserten, bei den Infusorien, Paarung, Männchen, Weibchen und Eier wahrzunehmen und traten infolgedessen als erklärte Gegner der Urzeugung auf.

Um die Bildung von Infusorien zu unterdrücken, erhitzte Spallanzani[1]) die Aufgüsse drei Viertelstunden auf der Temperatur des kochenden Wassers. Dies geschah um die Mitte des 18. Jahrhunderts. Später wandte Appert[2]) die Ergebnisse der Spallanzani'schen Versuche auf den Haushalt an. So besteht zum Beispiel eins der Experimente des gelehrten Italieners darin, kleine Erbsen mit Wasser zusammen in ein Glasgefäfs zu bringen, welches man nach vollkommenem Verschlufs drei Viertelstunden in kochendes Wasser hält. Dies ist Apperts Verfahren. Nun hat aber Gay-Lussac[3]) dieses Verfahren verschiedenen Prüfungen unterworfen.

---

1) Italienischer Physiologe (1727—1799).

2) Französischer Koch, erfand 1804 das Verfahren, Gemüse in Büchsen zu konservieren.

3) Über Gay-Lussac siehe Abschnitt 45 ds. Bds.

„Man kann sich davon überzeugen“, sagt Gay-Lussac, „wenn man die Luft der Flaschen, in welchen die Stoffe (Rindfleisch, Hammelfleisch, Fisch, Champignons, Weinmost) erhalten geblieben waren, analysiert, daſs sie keinen Sauerstoff mehr enthält, und daſs die Abwesenheit dieses Gases eine notwendige Bedingung für die Erhaltung tierischer und pflanzlicher Stoffe ist.“

Die Befürchtungen über eine Änderung der Luft bei den Versuchen Spallanzanis fanden sich durch die Thatsache der Abwesenheit des Sauerstoffs in den Appert'schen Konserven gerechtfertigt.

Ein Versuch von Schwann[1]) brachte jedoch in die Frage einen sehr bemerkenswerten Fortschritt. Im Jahre 1837 veröffentlichte Schwann die folgenden Thatsachen: Ein Aufguſs von Muskelfleisch wird in einen Glasballon gethan; darauf schlieſst man den Ballon vor der Lampe, setzt ihn vollständig der Temperatur des kochenden Wassers aus und überläſst ihn nach dem Erkalten sich selbst. Die Flüssigkeit fault nicht. Bis dahin haben wir nichts neues. Das ist einer der Versuche Spallanzanis oder eine Appert'sche Konserve. „Aber es ist wünschenswert“, fügt Schwann hinzu, „den Versuch so abzuändern, daſs eine Erneuerung der Luft möglich ist, jedoch mit der Bedingung, daſs die neue Luft vorher erwärmt wird, wie es mit der ursprünglichen Luft im Ballon geschehen war.“ Darauf wiederholt Schwann das vorstehende Experiment, indem er im Halse des Ballons einen doppelt durchbohrten Stopfen anbringt, durch den knieförmig gebogene und gekrümmte Röhren gehen. Diese Krümmungen tauchen in eine geschmolzene Legierung, welche auf einer dem Siedepunkt des Quecksilbers naheliegenden Temperatur erhalten wird. Mit Hülfe einer Saugvorrichtung erneuert man die Luft, welche kalt in den Ballon gelangt, nachdem sie in demjenigen Teil der Röhren erwärmt wurde, welcher von der geschmolzenen Legierung umgeben ist. Das Ergebnis ist dasselbe wie in den Versuchen Spallanzanis und Apperts. Es findet keine Änderung der organischen Flüssigkeit statt.

Die erwärmte und darauf wieder erkaltete Luft läſst also die aufgekochte Fleischbrühe unversehrt. Dies widerlegte die Behauptung Gay-Lussacs über die Rolle, welche der Sauerstoff im Verfahren Apperts und bei der alkoholischen Gärung spiele.

---

1) Über Schwann siehe Abschnitt 55 ds. Bds.

Folgendes war der Schlufs, welchen Schwann aus den eben mitgeteilten Versuchen zog: „Bei der alkoholischen Gärung, wie „bei der Fäulnis, ist es nicht der Sauerstoff, wenigstens nicht der „Sauerstoff der atmosphärischen Luft allein, welcher diese Vorgänge „verursacht, sondern ein in der gewöhnlichen Luft enthaltenes und „durch die Wärme zerstörbares Etwas.“

Die Versuche Schwanns sind von mehreren Beobachtern wiederholt und abgeändert worden. Man liefs die Luft, anstatt sie zu glühen, durch chemische Reagentien streichen; andere dachten sich aus, die Luft durch Baumwolle zu filtrieren, anstatt sie durch höhere Temperatur nach der Art Schwanns oder durch energisch wirkende chemische Reagentien zu verändern.

B. Mikroskopische Prüfung der in der atmosphärischen Luft zerstreuten festen Teilchen.

Meine erste Sorge war, eine Methode ausfindig zu machen, die gestattet, zu jeder Jahreszeit die festen Teilchen, welche in der Luft schweben, zu sammeln und unter dem Mikroskop zu studieren. Man mufste, wenn möglich, zuerst die Einwände beseitigen, welche die Anhänger der Urzeugung der alten Hypothese von der Aussaat der Keime durch die Luft entgegensetzten.

Wenn die organischen Stoffe der Aufgüsse erhitzt worden sind, so bevölkern sie sich mit Infusorien und mit Schimmel. Diese organisierten Bildungen sind im allgemeinen weder so zahlreich, noch so mannigfaltig, als wenn man die Flüssigkeiten vorher nicht zum Kochen gebracht hat, aber sie entstehen immer. Unter diesen Umständen nun können ihre Keime nur aus der Luft kommen, weil das Kochen diejenigen Keime zerstört, welche die Gefäfse oder die Stoffe des Aufgusses in die Flüssigkeit gebracht haben. Die ersten experimentell zu beantwortenden Fragen sind also folgende: Giebt es Keime in der Luft? Ist eine genügend grofse Anzahl in ihr vorhanden, um das Auftreten organisierter Bildungen in den Aufgüssen, welche vorher erhitzt worden waren, zu erklären? Kann man sich eine annähernde Vorstellung machen von einer zu erweisenden Beziehung zwischen einem bestimmten Raumteil gewöhnlicher Luft und der Anzahl Keime, welche dieser Raumteil einschliefsen kann?

Beginnen wir mit der Frage: giebt es Keime in der Luft? Niemand leugnet es. Einer der erklärtesten Anhänger der Urzeugung[1])

[1]) Pouchet, Traité de la génération spontanée. Paris 1859. pag. 432.

äufsert sich darüber folgendermafsen: „Man begegnet im Staube zuweilen einigen Eiern von Infusorien, wie man dort eine Menge leichter Körperchen antrifft, aber das ist wirklich eine Ausnahme.“ Weiterhin drückt er sich wie folgt aus: „Unter den zum Pflanzenreiche gehörenden Teilchen des Staubes kommen Kryptogamensporen, freilich in sehr geringer Zahl, vor.“

Es giebt danach im Staube der Luft Infusorieneier und Schimmelsporen; die Anhänger der Lehre von der Urzeugung bestätigen das selbst, aber sie setzen hinzu, dafs sie nur ausnahmsweise und zwar in aufserordentlich beschränkter Zahl vorkommen.

Hier mag jedoch eine Bemerkung Platz finden. Der Staub, welchen man auf der Oberfläche aller Körper findet, ist beständig Luftströmungen ausgesetzt, welche seine leichtesten Teile fortführen; unter ihnen befinden sich ohne Zweifel vorzugsweise organisierte Körperchen, Eier oder Sporen, die im allgemeinen weniger schwer als die mineralischen Teilchen sind. Aufserdem ist es nicht möglich, soweit der gewöhnliche in Ruhe befindliche Staub in Betracht kommt, eine Andeutung über das Verhältnis zu erhalten, welches zwischen einem gegebenem Volumen dieses Staubes und dem Luftvolumen, das jenes geliefert hat, vorhanden ist. Man mufs also nicht den in Ruhe befindlichen Staub, sondern den in der Luft schwebenden beobachten. Sehen wir zu, ob das ausführbar ist und ob es wahr ist, dafs dieser schwebende Staub nur ausnahmsweise Keime niederer Organismen einschliefst, wie das für den in Ruhe befindlichen Staub zutreffen mag.

Das Verfahren, welches ich eingeschlagen habe, um den in der Luft schwebenden Staub zu sammeln und unter dem Mikroskop zu prüfen, ist sehr einfach. Es besteht darin, ein bestimmtes Luftvolumen durch in Alkohol und Äther lösliche Schiefsbaumwolle zu filtrieren. Die Baumwollfasern halten die festen Teilchen zurück; dann behandelt man die Baumwolle mit jenen Lösungsmitteln. Nach einer genügend langen Zeit fallen alle festen Teilchen auf den Boden der Flüssigkeit; man unterwirft den Bodensatz einigen Waschungen und bringt ihn dann auf den Objekttisch des Mikroskops, wo man ihn leicht studieren kann. Ich will jetzt auf die Einzelheiten des Experiments eingehen.

FF in Fig. 56 ist ein Fensterrahmen, in welchem ich in einer Höhe von mehreren Metern über dem Boden eine Öffnung angebracht habe, die der Glasröhre T den Durchgang gestattet. Diese Röhre hatte in meinen Versuchen einen Durchmesser von einem halben Centimeter. Bei a befindet sich ein Pfropf löslicher

Baumwolle von ungefähr einem Centimeter Länge, welcher mittelst einer kleinen Spirale aus Platindraht festgehalten wird. Die Luft wurde von dem Aspirator R herbeigezogen. Das ist eine T förmige Messingröhre, in welche beständig Wasser fliefst, das die Luft aus der Röhre m n saugt; letztere ist an ihrem Ende bei n etwas umgebogen, wie es die Figur zeigt. Die Röhre m n steht überdies

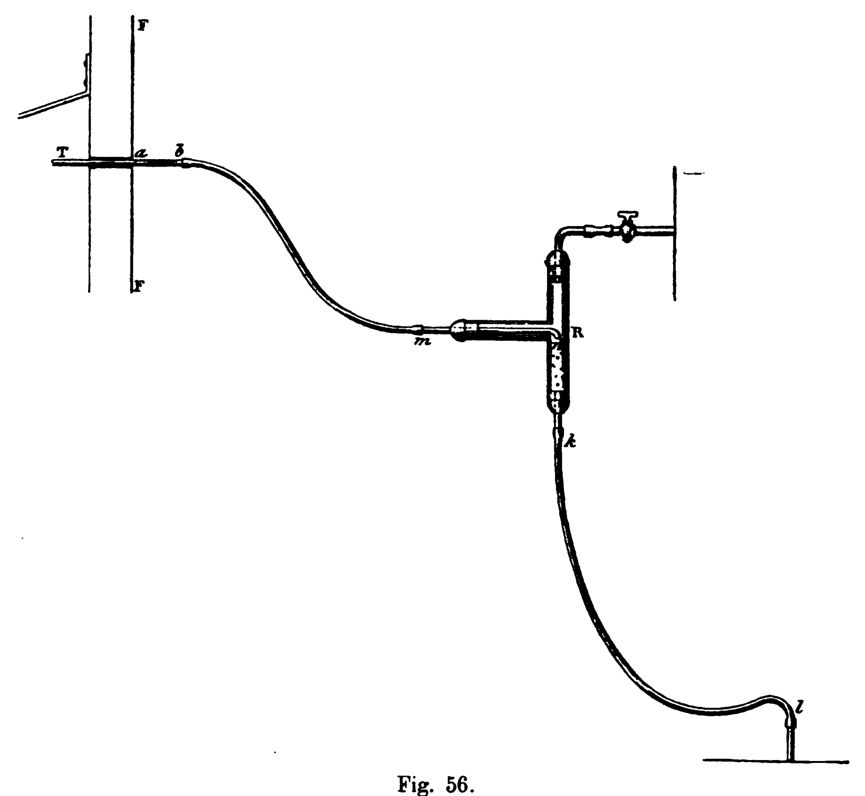


Fig. 56.
Pasteurs Verfahren, die Keime aus der atmosphärischen Luft abzusondern.
(Ostwalds Klassiker Nr. 39. Taf. I, Fig. 1.)

durch einen Kautschukschlauch mit der den löslichen Baumwollpfropfen enthaltenden Röhre T in Verbindung. Will man das Luftvolumen, welches das ablaufende Wasser hindurchgesogen hat, bestimmen, so genügt es, das Ende l der Röhre k l in eine grofse, umgestürzte, mit Wasser gefüllte und vorher geaichte Flasche zu stecken und die Zeit zu messen, in welcher sich eine Flasche z. B. von 10 Litern Inhalt füllt. Diese Art der ununterbrochenen Aspiration ist sehr bequem und hat mir grofse Dienste geleistet.

Ist die Luft hinreichend lange hindurchgestrichen, so wird der Baumwollpfropfen, der durch den zurückgehaltenen Staub mehr oder weniger schmutzig geworden ist, in ein kleines Glasröhrchen mit dem Äther-Alkoholgemisch, das die Baumwolle auflöst, gelegt. Man läfst während eines Tages absitzen. Aller Staub sammelt sich auf dem Boden der Glasröhre an, wo er leicht durch wiederholtes Abgiefsen ohne Verlust gewaschen werden kann, wenn man dafür Sorge trägt, jede Waschung durch eine Ruhezeit von etwa 20 Stunden zu unterbrechen.

Wenn der Staub genügend gewaschen ist, sammelt man ihn auf einem Uhrglase, auf dem der Rest der ihn benetzenden Flüssigkeit schnell verdunstet; dann rührt man ihn mit etwas Wasser an und prüft ihn unter dem Mikroskop.

Diese sehr einfachen Verrichtungen lassen erkennen, dafs in gewöhnlicher Luft beständig eine wechselnde Zahl von Körperchen vorhanden ist, deren Gestalt und Bau anzeigt, dafs sie organisiert sind. Ihre Gröfse beläuft sich von den kleinsten Durchmessern an bis auf $^1/_{100}$ oder mehr Millimeter. Die einen sind vollkommen kugelrund, die anderen länglich; ihre Umrisse treten mehr oder weniger klar hervor. Viele sind vollständig durchscheinend, aber es kommen auch undurchsichtige mit Körnern im Innern vor. Die durchscheinenden mit deutlichen Umrissen gleichen so sehr den gemeinen Schimmelsporen, dafs der geschickteste Mikroskopiker keinen Unterschied sehen würde. Das ist alles, was man darüber sagen kann; ebenso wie man nur behaupten kann, dafs unter den übrigen solche vorkommen, welche kugelförmigen und eingekapselten Infusorien und im allgemeinen jenen Kügelchen gleichen, welche man als Eier dieser kleinen Wesen betrachtet. Aber das ist, wie ich glaube, nicht möglich, zu behaupten, dafs dies eine Spore ist, geschweige denn die Spore einer bestimmten Art, und dafs das ein Ei ist, und zwar das Ei jenes Urtierchens. Was mich anbelangt, so beschränke ich mich darauf, zu erklären, dafs diese Körperchen augenscheinlich organisiert sind, indem sie in jeder Hinsicht den Keimen der niedrigsten Organismen gleichen, und dafs sie so verschieden an Gröfse und Bau sind, dafs sie unstreitig zu sehr zahlreichen Arten gehören.

Die Anwendung von Jodwasser zeigt auf die unzweideutigste Weise, dafs zwischen diesen Körperchen immer Stärkekörner vorkommen[1]). Aber es ist sehr leicht, alle derartigen Körperchen

[1]) Stärkekörner werden durch das Jod blau gefärbt.

zu entfernen, indem man den Staub mit Schwefelsäure anrührt, welche in wenigen Augenblicken alles, was Stärkemehl ist, auflöst.

Die Zahl der organisierten Körper, welche man nach dieser Methode auf den Baumwollfäden sammelt, ist sehr ansehnlich im Verhältnis zum Luftvolumen. Ich brauche nicht zu erwähnen, dafs die angewandte Baumwolle durchaus keine organisierten Körperchen enthielt und dafs ihre Lösung in dem alkoholischen Gemisch keinen anderen Rückstand hinterliefs als einige nichtgelöste Fasern.

Um die Ergebnisse, welche ich erzielt habe, zu widerlegen, hat man später den Staub geprüft, welchen der Schnee nach dem Schmelzen hinterläfst. Der Schnee wurde in einem Hof gesammelt. Nur die oberflächliche Schicht in einer Dicke von ungefähr 5 cm und in einer Ausdehnung von 4 qm wurde verwendet. Ich selbst habe nicht den Staub der Luft studiert, indem ich den Schnee schmelzen liefs, und ich weifs nicht, ob diese Methode so viel wert ist wie diejenige, welche ich befolgt habe. Jedenfalls ist es klar, dafs man den ersten gefallenen Schnee, die Schicht vom Boden und nicht die von der Oberfläche studieren müfste. Wenn der Schnee den Staub der Luft mit sich reifsen kann, so mufs der zuerst gefallene dies Amt übernehmen.

Ich glaube, dafs es von grofsem Interesse sein würde, die Studien über diesen Gegenstand auszudehnen und an ein und demselben Orte zu verschiedenen Jahreszeiten, sowie an verschiedenen Orten zu derselben Zeit, die in der Luft zerstreuten organisierten Körperchen zu vergleichen. Mir scheint, dafs die Phänomene der ansteckenden Krankheiten, besonders der epidemischen, durch in dieser Richtung fortgesetzte Arbeiten sich unserer Erkenntnis erschliefsen würden.

69. Die Elektricität wird als eine Wellenbewegung erkannt.

Hertz, Über die Beziehungen zwischen Licht und Elektricität[1].

Hertz wurde am 22. Februar 1857 in Hamburg geboren; er starb daselbst, nachdem er als Professor der Physik in Bonn gewirkt hatte, am 1. Januar des Jahres 1894.

Hertz gelang der Nachweis, dafs die Elektricität sich wellenförmig und mit gleicher Geschwindigkeit wie das Licht durch den Raum fortpflanzt. Auch stellte er mit den von ihm hervorgerufenen Strahlen elektrischer Kraft alle jene fundamentalen Versuche an, welche unter dem Namen der Reflexion, Brechung und Polarisation auf den Gebieten der Optik und der Wärmelehre seit langem bekannt sind.

Die Behauptung, welche ich vertreten möchte, sagt geradezu aus: Das Licht ist eine elektrische Erscheinung, das Licht an sich, alles Licht, das Licht der Sonne, das der Kerze, das eines Glühwurms. Nehmt aus der Welt die Elektricität, und das Licht verschwindet; nehmt aus der Welt den lichttragenden Äther, und die elektrischen und magnetischen Kräfte können nicht mehr den Raum überschreiten. Dies ist meine Behauptung. Sie ist nicht von heute und gestern, sie hat schon eine längere Geschichte hinter sich. Ihre Geschichte giebt ihre Begründung. Eigene Versuche, welche sich auf diesen Gegenstand beziehen, bilden nur ein Glied in einer längeren Kette. Und von der Kette, nicht allein von dem einzelnen Gliede möchte ich erzählen.

Nicht leicht ist es freilich von diesen Dingen zugleich verständlich und völlig zutreffend zu reden. Die Vorgänge, von denen wir handeln, haben ihren Tummelplatz im leeren Raum, im freien Äther. Diese Vorgänge sind an sich unfafsbar für die Hand, unhörbar für das Ohr, unsichtbar für das Auge. Der inneren Anschauung, der begrifflichen Verknüpfung sind sie zugänglich, aber nur schwer der sinnlichen Beschreibung. Soviel wie möglich will ich daher versuchen an diejenigen Anschauungen und Vorstellungen anzuknüpfen, die wir schon besitzen.

[1]) Über die Beziehungen zwischen Licht und Elektricität. Ein Vortrag gehalten bei der 62. Versammlung deutscher Naturforscher und Ärzte in Heidelberg von Heinrich Hertz. Bonn 1889.

Was ist denn das Licht? Seit dem Beginn des 19. Jahrhunderts wissen wir, dafs es eine Wellenbewegung ist. Wir kennen die Geschwindigkeit der Wellen, wir kennen ihre Länge, wir wissen, dafs es Transversalwellen sind. Die Wellentheorie des Lichtes ist, menschlich gesprochen, Gewifsheit. Es ist also auch gewifs, dafs aller Raum, von dem wir Kunde haben, nicht leer ist, sondern erfüllt mit einem Stoffe, welcher fähig ist, Wellen zu schlagen, dem Äther. Aber so bestimmt auch unsere Kenntnisse von den geometrischen Verhältnissen der Vorgänge in diesem Stoffe sind, so widerspruchsvoll sind unsere Annahmen über die Eigenschaften des Stoffes selbst. Naiv und unbefangen hatte man von vornherein die Wellen des Lichtes mit denen des Schalles verglichen und sie als elastische Wellen angesehen und behandelt. Nun sind aber elastische Wellen in Flüssigkeiten nur in Form von Longitudinalwellen bekannt. Elastische Transversalwellen in Flüssigkeiten sind nicht bekannt; sie sind nicht einmal möglich, ja sie widersprechen der Natur des flüssigen Zustandes. Man war also zu der Behauptung gezwungen, der raumerfüllende Äther verhalte sich wie ein fester Körper. Betrachtete man dann aber den ungestörten Lauf der Gestirne, so war wiederum die Behauptung nicht zu umgehen, der Äther verhalte sich wie eine vollkommene Flüssigkeit. Nebeneinander bildeten beide Behauptungen einen für den Verstand schmerzhaften Widerspruch, welcher die schön entwickelte Optik entstellte. Suchen wir denselben nicht zu bemänteln, wenden wir uns vielmehr der Elektricität zu; vielleicht dafs ihre Erforschung uns zur Hebung auch dieser Schwierigkeit verhilft.

Was ist denn die Elektricität? Das ist allerdings eine grofse Frage. Die meisten, welche sie stellen, zweifeln dabei nicht an der Existenz der Elektricität an sich. In unserer Vorstellung spielt sicherlich die stofflich gedachte Elektricität eine grofse Rolle. Und in der Redeweise vollends herrschen heutzutage noch unumschränkt die althergebrachten, allen geläufigen, uns gewissermafsen lieb gewordenen Vorstellungen von den beiden sich anziehenden und abstofsenden Elektricitäten, welche mit ihren Fernwirkungen wie mit geistigen Eigenschaften begabt sind. Die Zeit, in welcher man diese Vorstellungen ausbildete, war die Zeit, in welcher das Newton'sche Gravitationsgesetz seine schönsten Triumphe feierte, die Vorstellung der unvermittelten Fernwirkungen war den Geistern geläufig. Die elektrischen und magnetischen Anziehungen folgten dem gleichen Gesetze wie die Wirkung der Gravitation; was Wunder, wenn man glaubte, durch Annahme einer ähnlichen Fern-

wirkung die Erscheinungen in der einfachsten Weise erklärt, dieselben auf den letzten erkennbaren Grund zurückgeführt zu haben.

War der eingeschlagene Weg gleichwohl eine falsche Fährte, so konnte Warnung nur kommen von einem Geiste, der von neuem unbefangen den Erscheinungen gegenübertrat, der wieder ausging, von dem, was er sah und nicht von dem, was er gehört, gelernt und gelesen hatte. Ein solcher Geist war Faraday. Faraday hörte zwar sagen, dafs man bei der Elektrisierung eines Körpers etwas in ihn hineinbringe, er sah aber, dafs die eintretenden Änderungen nur aufserhalb des Körpers sich bemerkbar machten und durchaus nicht im Innern. Faraday wurde gesagt, dafs die Kräfte den Raum einfach übersprängen, er sah jedoch, dafs es von gröfstem Einflufs war, welcher Stoff den angeblich übersprungenen Raum erfüllte. Faraday las, dafs es Elektricitäten sicher gebe, dafs man aber über ihre Kräfte sich streite; und doch sah er, wie diese Kräfte ihre Wirkungen greifbar entfalteten, während er von den Elektricitäten selbst nichts wahrzunehmen vermochte. So kehrte sich in seiner Vorstellung die Sache um. Die elektrischen und magnetischen Kräfte selbst wurden ihm das Vorhandene, das Wirkliche, das Greifbare; die Elektricität und der Magnetismus dagegen wurden ihm Dinge, über deren Vorhandensein man streiten kann. Die Kraftlinien, wie er die selbständig gedachten Kräfte nannte, standen vor seinem geistigen Auge im Raume als Zustände desselben, als Spannungen, Wirbel, Strömungen, als was auch immer, das vermochte er selbst nicht anzugeben. Aber da standen sie, beeinflufsten einander, schoben und drängten die Körper hin und her, und breiteten sich aus, von Punkt zu Punkt einander die Erregung mitteilend. Auf den Einwand, wie denn im leeren Raume andere Zustände als vollkommene Ruhe möglich seien, konnte er antworten: Ist denn der Raum leer? Zwingt uns nicht schon das Licht, ihn als erfüllt zu denken? Könnte nicht der Äther, welcher die Wellen des Lichtes leitet, auch fähig sein, Änderungen aufzunehmen, welche wir als elektrische und magnetische Kräfte bezeichnen?

Soweit etwa kam Faraday in seinen Anschauungen, seinen Vermutungen. Beweisen konnte er dieselben nicht; doch suchte er eifrig nach Beweisen. Untersuchungen über den Zusammenhang von Licht, Magnetismus, Elektricität waren Lieblingsgegenstände seines Studiums. Unter den vielen Fragen, welche er sich beständig vergegenwärtigte, kehrte immer die Frage wieder, ob die elektrischen und magnetischen Kräfte Zeit zu ihrer Ausbreitung nötig hätten. Die

Versuche gaben einstweilen keine Auskunft, und auch der Theorie lag ein Eingehen auf Faradays Gedanken zunächst fern. Da erweiterte der Engländer Maxwell die elektrischen Formeln in der Weise, daſs sie alle bekannten Erscheinungen, daneben aber auch noch eine unbekannte Klasse von Erscheinungen zum Ausdruck brachten, nämlich elektrische Wellen. Diese Wellen waren Transversalwellen, deren Länge jeden Wert haben konnte, welche sich aber im Äther stets mit gleicher Geschwindigkeit, und zwar mit der Lichtgeschwindigkeit, fortpflanzten. Und nun konnte Maxwell darauf hinweisen, dass es Wellen von eben solchen geometrischen Eigenschaften in der Natur ja wirklich gebe, wenn wir auch nicht gewohnt sind, sie als elektrische Erscheinungen zu betrachten, sondern sie mit einem besonderen Namen, nämlich als Licht bezeichnen.

Die Maxwell'sche Theorie glich einem Gewölbe, welches einen tiefen Abgrund voll des Unbekannten überspannte. Alles, was man lange Zeit zur Kräftigung dieses Gewölbes zu thun vermochte, bestand darin, daſs man die beiden Widerlager verstärkte. Um indes auf dem Gewölbe als sicherer Grundlage weiter in die Höhe zu bauen, waren besondere Hauptpfeiler notwendig, welche, vom festen Boden aus aufgemauert, die Mitte des Gewölbes faſsten. Einem solchen Pfeiler würde der Nachweis zu vergleichen sein, daſs wir aus dem Lichte unmittelbar elektrische und magnetische Wirkungen erhalten können. Ein anderer Pfeiler wäre der Nachweis, daſs es Wellen elektrischer und magnetischer Kraft giebt, welche sich nach Art der Lichtwellen ausbreiten können. Eine harmonische Vollendung des Gebäudes wird den Aufbau beider Pfeiler erfordern, für das erste Bedürfnis aber genügt einer von ihnen. Der erste Pfeiler hat noch nicht in Angriff genommen werden können[1]; für den zweiten aber ist es nach langem Suchen endlich geglückt, einen sicheren Stützpunkt zu finden.

Wir wissen seit lange, daſs der Entladungsschlag der Leydener Flasche kein gleichförmig ablaufender Vorgang ist, sondern daſs er sich, ähnlich dem Schlage einer Glocke, aus einer groſsen Zahl von Schwingungen, von hin und her gehenden Entladungen zusammensetzt, welche sich in genau gleichen Perioden folgen. Man kann auf den Gedanken kommen, die einzelne Schwingung als Zeichen zu benützen. Aber leider füllten die kürzesten beobachteten Schwingungen immer noch das volle Milliontel der Sekunde

[1]) Auch der erste der von Hertz geforderten Nachweise ist seitdem erbracht.

aus. Während eine solche Schwingung verlief, breitete sich ihre Wirkung schon über dreihundert Meter aus. Unter besonderen Umständen kann indessen die Entladung jedes beliebigen Leiters zu Schwingungen Anlafs geben, und diese Schwingungen können viel kürzer sein als die der Flaschen. Wenn Sie z. B. den Konduktor einer Elektrisiermaschine entladen, erregen Sie Schwingungen, deren Dauer zwischen dem hundertmillionten und dem tausendmillionten Teil der Sekunde liegt. Freilich folgen sich diese Schwingungen nicht in lang anhaltender Reihe; es sind wenige, schnell verlöschende Zuckungen. Aber dieselben würden uns noch wenig nützen, wenn wir nicht imstande wären, ihre Wirkung bis in die beabsichtigte Entfernung von etwa zehn Metern auch wirklich wahrzunehmen. Es giebt hierfür ein sehr einfaches Mittel. Dorthin, wo wir die Kraft wahrnehmen wollen, bringen wir einen Leiter, etwa einen Draht, welcher durch eine feine Funkenstrecke unterbrochen ist. Die rasch wechselnde Kraft setzt die Elektricität des Leiters in Bewegung und läfst einen Funken in demselben auftreten. Auch dieses Mittel mufste durch die Erfahrung selbst an die Hand gegeben werden, die Überlegung konnte es nicht wohl voraussehen. Die Funken sind nämlich mikroskopisch klein, kaum ein hundertstel Millimeter lang, und ihre Dauer beträgt noch nicht den millionten Teil der Sekunde. Es erscheint unmöglich, dafs sie sichtbar sein sollten; aber im völlig dunklen Zimmer für das geschonte Auge sind sie dennoch sichtbar. An diesem dünnen Faden hängt das Gelingen unseres Unternehmens. Zunächst drängt sich uns eine Fülle von Fragen auf. Unter welchen Umständen werden unsere Schwingungen am stärksten? Welche Form geben wir am besten dem empfangenden Leiter? Haben wir die Form festgesetzt, welche Gröfse wählen wir? Schnell zeigt sich, dafs Beziehungen zwischen den Schwingungen und den empfangenden Leitern bestehen, welche an die Resonanzerscheinungen der Akustik erinnern. Geben Sie einem Physiker eine Anzahl Stimmgabeln, eine Anzahl Resonatoren, und fordern Sie ihn auf, Ihnen die zeitliche Ausbreitung des Schalles nachzuweisen; er wird selbst in dem beschränkten Raume eines Zimmers keine Schwierigkeiten finden. Er stellt eine Stimmgabel auf, er horcht mit dem Resonator an den verschiedenen Stellen des Raumes herum und achtet auf die Schallstärke. Er zeigt, wie dieselbe in einzelnen Punkten sehr klein wird; er zeigt, wie dies daher rührt, dafs hier jede Schwingung aufgehoben wird durch eine andere später abgegangene, welche auf einem kürzeren Wege zum gleichen Ziele gelangt ist.

Wenn ein kürzerer Weg weniger Zeit erfordert als ein längerer, so ist die Ausbreitung eine zeitliche. Die gestellte Aufgabe ist somit gelöst. Aber unser Apparat zeigt uns nun weiter, wie die stillen Stellen periodisch in gleichen Abständen sich folgen; er mißt daraus die Wellenlänge, und wenn er die Schwingungsdauer der Gabel kennt, erhält er daraus auch die Geschwindigkeit des Schalles. Nicht anders, sondern genau so verfahren wir mit unseren elektrischen Schwingungen. An die Stelle der Stimmgabel setzen wir den schwingenden Leiter, anstatt des Resonators ergreifen wir unseren unterbrochenen Draht, den wir daher auch als elektrischen Resonator bezeichnen. Wir bemerken, daß derselbe an einzelnen Stellen des Raumes Funken zeigt, an anderen dagegen funkenfrei ist; wir sehen ferner wie sich die toten Stellen nach festen Gesetzmäßigkeiten periodisch folgen. Die zeitliche Ausbreitung ist damit erwiesen, die Wellenlänge meßbar geworden. Man wirft die Frage auf, ob die gefundenen Wellen Longitudinal- oder Transversalwellen seien. Wir halten unseren Draht in zwei verschiedenen Lagen an dieselbe Stelle der Welle. Das eine Mal spricht er an, das andere Mal nicht. Mehr bedarf es nicht. Die Frage ist entschieden: es sind Transversalwellen. Man fragt nach ihrer Geschwindigkeit. Wir multiplizieren die gemessene Wellenlänge mit der berechneten Schwingungsdauer und finden eine Geschwindigkeit, welche der des Lichtes verwandt ist.

Alle diese Versuche sind im Grunde sehr einfach, aber sie führen doch die wichtigsten Folgerungen mit sich. Sie sind vernichtend für jede Theorie, welche die elektrischen Kräfte als zeitlos den Raum überspringend ansieht. Sie bedeuten einen glänzenden Sieg der Lehre Maxwells.

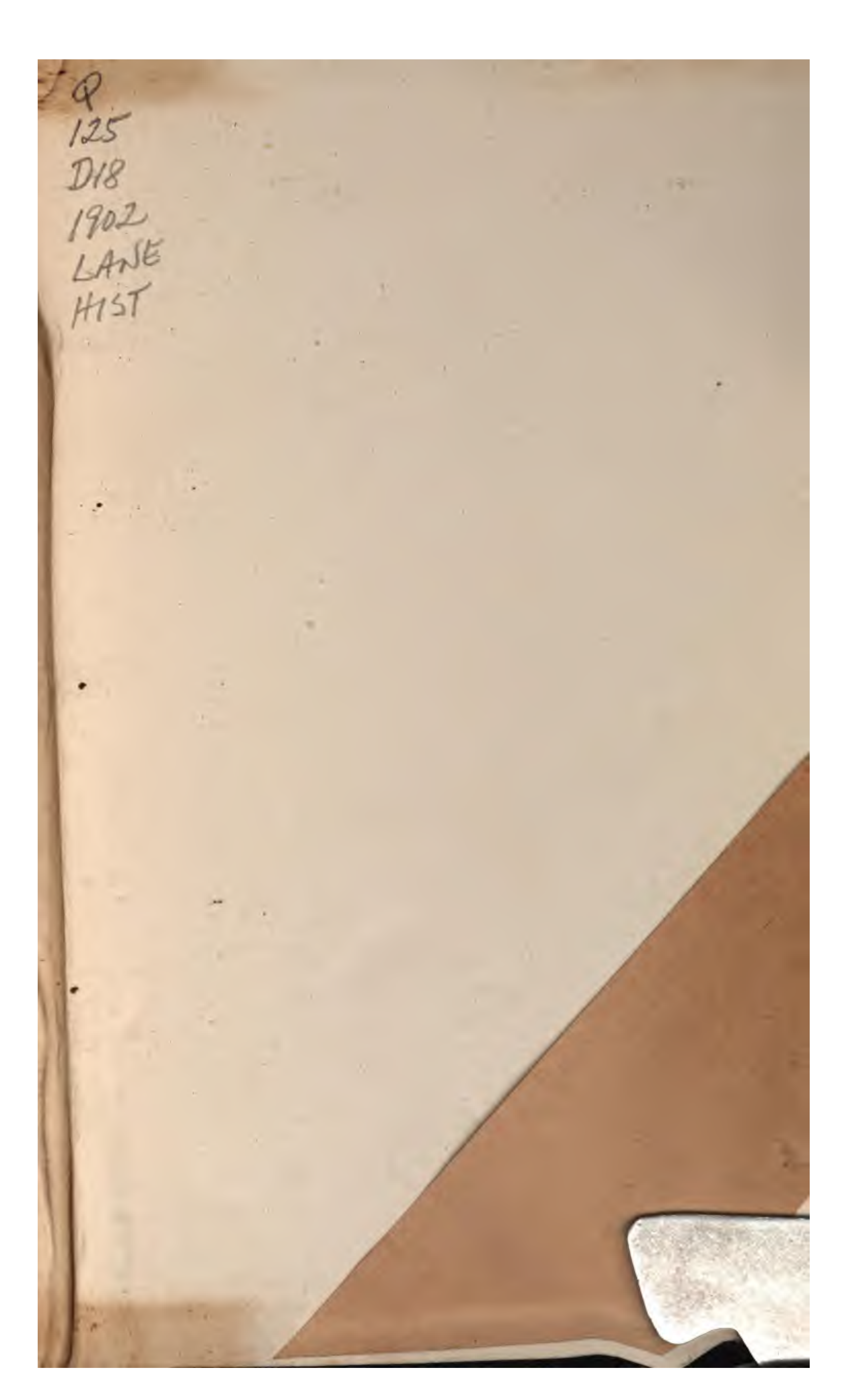
Können wir mit Hilfe der elektrischen Wellen unmittelbar die Erscheinungen des Lichtes nachahmen, so bedürfen wir nicht einmal einer Theorie als Vermittlerin; die Verwandtschaft beider Kräfte tritt dann nämlich aus den Versuchen selbst hervor. Solche Versuche sind in der That möglich. Wir bringen den Leiter, welcher die Schwingungen erregt, in der Brennlinie eines sehr großen Hohlspiegels an. Es werden dadurch die Wellen zusammengehalten, sodaß sie als kräftiger Strahl aus dem Hohlspiegel austreten. Freilich können wir diesen Strahl nicht unmittelbar sehen, noch
seine Wirkung äußert sich aber dadurch, daß er Funken
erregt, auf welche er trifft. Er wird für unser
ganz dasselbe mit einem unserer Resonatoren
ein wahrer Lichtstrahl. Wir können

n durch Drehung des Spiegels in verschiedene Richtungen senden; ir können durch Aufsuchung des Weges, welchen er nimmt, seine eradlinige Ausbreitung nachweisen. Bringen wir leitende Körper ı seinen Weg, so lassen sie den Strahl nicht hindurch, sie werfen chatten. Dabei vernichten sie den Strahl aber nicht, sondern sie 'erfen ihn zurück. Wir können den reflektierten Strahl verfolgen nd uns überzeugen. dafs die Gesetze, denen er gehorcht, die Geetze der Reflexion des Lichtes sind. Auch brechen können wir en Strahl in der gleichen Weise wie das Licht. Um einen Lichttrahl zu brechen, leiten wir ihn durch ein Prisma; er wird daurch von seinem geraden Wege abgelenkt. Ebenso verfahren wir ıit dem elektrischen Strahl und zwar mit dem gleichen Erfolge. ſur müssen wir hier, entsprechend den Dimensionen der Wellen in sehr grofses Prisma nehmen. Wir stellen dasselbe aus einem illigen Stoffe her, etwa aus Pech oder aus Asphalt. Endlich aber önnen wir sogar diejenigen Erscheinungen an unserem Strahle erfolgen, welche man bisher einzig und allein am Lichte beobachtet at, die Polarisationserscheinungen nämlich. Durch Einschiebung ines Drahtgitters von geeigneter Struktur in den Weg des Strahles ıssen wir die Funken in unserem Resonator aufleuchten oder ver- ɔschen, genau nach den gleichen geometrischen Gesetzmäfsigkeiten, ach welchen wir das Gesichtsfeld eines Polarisationsapparates urch Einschieben einer Krystallplatte verdunkeln oder erhellen.

Soweit die Versuche. Bei Anstellung derselben stehen wir chon voll und ganz im Gebiete der Lehre vom Lichte. Indem ir die Versuche planen, indem wir sie beschreiben, denken wir chon nicht mehr elektrisch, wir denken optisch. Wir sehen nicht aehr in den Leitern Ströme fliefsen, Elektricitäten sich ansammeln; ir sehen nur noch die Wellen in der Luft, wie sie sich kreuzen, ich vereinigen, sich stärken und schwächen. Von dem Gebiete ein elektrischer Erscheinungen ausgehend, sind wir Schritt für chritt zu rein optischen Erscheinungen gelangt. Die Pafshöhe st überschritten; der Weg senkt, ebnet sich wieder. Die Verindung zwischen Licht und Elektricität, welche die Theorie ahnte, ermutete, voraussah, ist hergestellt, den Sinnen fafslich, dem Geiste erständlich. Von dem höchsten Punkte, den wir erreicht haben, on der Pafshöhe selbst, eröffnet sich ein weiter Einblick in beide iebiete. Sie erscheinen uns gröfser als wir sie bisher gekannt.)ie Herrschaft der Optik beschränkt sich nicht mehr auf Ätherellen, welche kleine Bruchteile des Millimeters messen, sie gewinnt Vellen, deren Längen nach Decimetern, Metern, Kilometern rechnen.

Und trotz dieser Vergröfserung erscheint sie uns von hier gesehen nur als ein kleines Anhängsel am Gebiete der Elektricität. Dieses letztere gewinnt am meisten. Wir erblicken Elektricität an tausend Orten, wo wir bisher von ihrem Vorhandensein keine sichere Kunde hatten. In jeder Flamme, in jedem leuchtenden Atome sehen wir einen elektrischen Prozefs. Auch wenn ein Körper nicht leuchtet, so lange er nur noch Wärme ausstrahlt, ist er der Sitz elektrischer Erregungen. So verbreitet sich das Gebiet der Elektricität über die ganze Natur.




Q
125
D18
1902
LANE
HIST

